



RAPPORT

Le Canada dans un climat en changement

Enjeux nationaux



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux

REMERCIEMENTS.....	3
AVANT-PROPOS	6
APERÇU DU RAPPORT	9
CHAPITRE 1 Introduction.....	14
CHAPITRE 2 Villes et milieux urbains	27
CHAPITRE 3 Collectivités rurales et éloignées	110
CHAPITRE 4 Ressources en eau	201
CHAPITRE 5 Services écosystémiques	293
CHAPITRE 6 Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation.....	382
CHAPITRE 7 Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation.....	546
CHAPITRE 8 Divulgence, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques.....	641
CHAPITRE 9 Dimensions internationales.....	700



Éditeurs

Fiona J. Warren

Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques

Ressources naturelles Canada

Nicole Lulham

Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques

Ressources naturelles Canada

Citation recommandée

Warren, F. et Lulham, N., éditeurs (2021). Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux; gouvernement du Canada, Ottawa, ON.

La version interactive numérique du rapport est disponible à l'adresse ClimatEnChangement.ca/Enjeux-nationaux. Le rapport est également disponible en format PDF accessible à l'adresse : adaptation.rncan.gc.ca

Also available in English under the title : *Canada in a Changing Climate : National Issues Report*

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à : rncan.copyrightdroitdauteur.rncan@canada.ca

Pour obtenir de plus amples renseignements sur l'évaluation nationale, veuillez communiquer avec le secrétariat de l'évaluation nationale à : rncan.adaptation.rncan@canada.ca

No de cat. : M174-24/2021F-PDF

ISBN : 978-0-660-38843-4

Photos : © Shutterstock et Unsplash

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par Ressources naturelles Canada

Ce rapport fait partie du Canada dans un climat en changement : Faire progresser nos connaissances pour agir, l'évaluation nationale de la manière dont le climat change au Canada; des impacts de ces changements sur nos communautés, notre environnement et notre économie; et de la façon dont nous nous adaptons. Pour en savoir plus, veuillez visiter : <https://www.rncan.gc.ca/environnement/impacts-adaptation/19919>



Remerciements

Le Secrétariat de l'évaluation tient à remercier les personnes suivantes d'avoir pris le temps de fournir des critiques et des avis d'experts pour un ou plusieurs chapitres de ce rapport :

Bhim Adhikari	Rob de Loë	Nancy Olewiler
Bruce Currie Alder	Paddy Enright	Sara Jane O'Neill
Vidya Anderson	Guy Felio	Glen Parker
Adeniyi Asiyambi	Kerri Finlay	Hope Parnham
Stephanie Austin	Jeffrey Frank	Jo-Ellen Parry
Carol Aziz	Randy Gillespie	David Peterson
Dan Babaluk	Elisabeth Gilmore	Francis Pigeon
Céline Bak	Paul Griss	Susan Preston
Talaat Bakri	Rohan Hamden	Jessica Puddister
Phil Beard	Sharon Hanley-Smith	Mark Radley
Kevin Behan	Deb Harford	Graeme Reed
Maija Bertule	Monica Harvey	Gerald Renaud
Dale Beugin	Daniel Henstra	Raul Salas Reyes
Barrie Bonsal	Micah Hewer	Dany Robidoux
Mark Boysen	Jeffrey Hicke	Chris Rol
Sara Brown	Lisa Hiwasaki	Dimple Roy
Chris Buse	Dayne-Michael Hornick	Michelle Rutty
Elizabeth Bush	Sara Janis	Jo-Anne Rzadki
Ian Campbell	Amy Kim	Marjorie Shepherd
Nazzareno Capano	Dan Kraus	Aviva Shiller
Devin Causley	Marie-Eve Landry	Dana Simon
Nicole Cerpňjak	Chris Lemieux	Andrew Stumpf
Juan-Carlos Ciscar	Matt MacDonald	Tim Taylor
Stewart Cohen	Dennis Mahony	Johanna Wandel
Dylan Clark	Patricia Manuel	Emma Watson
Tugce Conger	Shawn Marshall	Erica Weterings
Teresa Cline	Steve McCollough	Bruce Wilson
Ellen Curtis	Shannon Miedema	Ram Yerubandi
Danielle Dagenais	Kathleen Miller	Alice Yu
Simon Daigle	Tamsin Mills	Christine Zimmer
Simon Dalby	Simon Mitchell	Carly Ziter
Julie Desjardins	Brian Montgomery	Laura Zizzo
James Davies	Linda Mortsch	
Marlene Doyle	Natalia Moudrak	
Michele Leone	Chad Nelson	
Bohan Li	Adolf Ng	



Nous remercions aussi les membres du Comité consultatif national de l'évaluation pour leurs précieux conseils et contributions :

Gord Beal, Comptables professionnels agréés du Canada	Elaine Fox, gouvernement du Manitoba	Patricia Manuel, Université de Dalhousie
Robert Capozzi, Secrétariat des changements climatiques du Nouveau-Brunswick	Pierre Gosselin, Institut national de santé publique du Québec	Linda Mortsch, Université de Waterloo
Stewart Cohen, climatologue indépendant, Environnement et Changement climatique Canada (retraité)	Sara Holzman, gouvernement du Nunavut	Graeme Reed, Assemblée des Premières Nations
Ellen Curtis, Éducation physique et santé Canada	Ewa Jackson, ICLEI Canada	Marjorie Shepherd, Environnement et Changement climatique Canada
Susan Evans, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario	Caroline Larrivée, Ouranos	Jim Vanderwal, Fraser Basin Council
	David Lapp, Ingénieurs Canada (retraité)	Thomas White, Ressources naturelles Canada
	Fred Lipschultz, Programme de recherche sur les changements climatiques des États-Unis	

Nous aimerions également remercier les étudiants et le personnel de soutien suivants pour leurs contributions utiles :

Meredith Caspell	Sana Malik	Julia Szwarc
Kathleen Godfrey	Brenda Reid	
Gwynneth Magnan	Brittany Poisson	

Merci à tous, de la part du Secrétariat de l'évaluation :

Diane Dupuis	Nicole Lulham
Joanne Egan	Fiona Warren



Avant- propos

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

Avant-propos

Il y a trois ans, lorsque nous avons commencé à travailler sur le processus d'évaluation nationale des connaissances du Canada, *Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*, nous n'aurions jamais pu imaginer à quel point le monde serait différent au moment de la publication de ce rapport. Depuis le début de l'année 2020, nous avons vécu des changements rapides et sans précédent alors que la population mondiale s'efforçait de réagir à la pandémie de COVID-19. Tous les aspects de notre vie ont été touchés : notre santé et notre bien-être, notamment nos relations sociales, nos emplois et notre stabilité économique.

Bien que la réponse à la pandémie ait monopolisé l'attention du monde entier, les changements climatiques continuent de faire partie intégrante des dialogues mondiaux, nationaux et infranationaux. En effet, alors que nous essayons toujours de comprendre les chocs pandémiques qui déferlent sur nos systèmes sociaux, économiques et environnementaux, des perspectives encourageantes se dessinent en ce qui concerne la lutte contre les changements climatiques. La réponse à la COVID-19 a montré qu'une fois que les personnes, les entreprises et les gouvernements comprennent les risques, ils sont prêts à apporter des changements majeurs pour protéger les vies et les moyens de subsistance, et ce, en dépit de l'incertitude ambiante. Les événements de cette dernière année ont également démontré les avantages qui peuvent être obtenus par la coopération, les progrès qui peuvent être réalisés grâce à des efforts concertés et le rôle essentiel que le secteur privé et la société civile jouent dans les mesures à prendre face aux défis mondiaux.

De nombreuses études révèlent que les efforts d'adaptation actuels sont insuffisants face à l'accumulation rapide des pertes sociales et économiques liées aux impacts présents et futurs des changements climatiques. Les études révèlent également que la fenêtre pour adopter des mesures visant à réduire les impacts de plus en plus graves se referme rapidement. Des interventions urgentes, soutenues par des investissements importants, sont nécessaires afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'accroître la résilience aux changements climatiques grâce à l'adaptation. Nos décisions et nos actions d'aujourd'hui détermineront notre capacité à survivre et à prospérer dans un climat en changement. Il est impératif de prendre des décisions éclairées en s'appuyant sur les meilleures données et connaissances scientifiques dont nous disposons à ce jour.

Dans ce contexte, nous sommes heureux de publier le [Rapport sur les enjeux nationaux](#). Ce rapport, dirigé par Ressources naturelles Canada, s'inscrit dans le cadre du processus d'évaluation nationale des connaissances du Canada, intitulé *Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*. Le rapport présente une perspective nationale sur la façon dont les changements climatiques impactent nos collectivités, notre environnement et notre économie, et sur la manière dont nous nous adaptons pour réduire les risques qui y sont associés. Il comprend des chapitres sur des sujets d'importance nationale ou qui bénéficient d'une perspective pancanadienne, ainsi que des études de cas présentant des exemples de pratiques d'adaptation.

Dans le cadre plus large du processus d'évaluation nationale des connaissances, le [Rapport sur les enjeux nationaux](#) fait suite à la publication du [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) en 2019 et à celle du [chapitre sur les provinces des Prairies](#) du Rapport sur les perspectives régionales en décembre 2020.



D'autres chapitres régionaux, notamment sur le Nord du Canada, la Colombie-Britannique, l'Ontario, le Québec et les provinces de l'Atlantique, seront également publiés au cours de l'année à venir.

L'objectif principal du processus d'évaluation nationale des connaissances est d'évaluer, de résumer et de mettre en commun les connaissances les plus récentes sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation au Canada. Nous espérons que ce rapport et ceux qui suivront vous inspireront et vous procureront les renseignements nécessaires pour mettre rapidement en place des mesures significatives d'adaptation aux changements climatiques.

Le Comité consultatif national sur l'évaluation nationale des connaissances :

Fiona Warren (présidente), Ressources naturelles Canada

Gord Beal, Comptables professionnels agréés du Canada

Robert Capozzi, Secrétariat des changements climatiques du Nouveau-Brunswick

Stewart Cohen, climatologue indépendant climatologue indépendant, Environnement et Changement climatique Canada (retraité)

Ellen Curtis, Éducation physique et santé Canada

Susan Evans, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario

Elaine Fox, gouvernement du Manitoba

Pierre Gosselin, Institut national de santé publique du Québec

Sara Holzman, gouvernement du Nunavut

Ewa Jackson, ICLEI Canada

Caroline Larrivée, Ouranos

David Lapp, Ingénieurs Canada (retraité)

Fred Lipschultz, Programme de recherche sur les changements climatiques des États-Unis

Patricia Manuel, Université de Dalhousie

Linda Mortsch, Université de Waterloo

Graeme Reed, Assemblée des Premières Nations

Marjorie Shepherd, Environnement et Changement climatique Canada

Jim Vanderwal, Fraser Basin Council

Thomas White, Ressources naturelles Canada



Aperçu du rapport

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

Introduction

Le climat changeant du Canada a des effets prononcés et durables sur notre société, notre économie et notre environnement. L'augmentation des températures, la modification du régime des précipitations, les phénomènes météorologiques extrêmes et l'élévation du niveau de la mer ne sont que quelques-uns des changements qui affectent déjà de nombreux aspects de nos vies. Ces changements climatiques persisteront et, dans de nombreux cas, s'amplifieront au cours des prochaines décennies. Il est nécessaire de comprendre ces impacts afin de réduire les risques, de renforcer la résilience et d'appuyer une prise de décision éclairée.

En 2017, le gouvernement du Canada a lancé un processus d'évaluation nationale intitulé *Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*. Cette initiative collaborative s'échelonnant sur plusieurs années donne lieu à une série de rapports faisant autorité (voir la figure O.1) qui se concentrent sur comment et pourquoi le climat du Canada change; les impacts de ces changements sur nos communautés, notre environnement, et notre économie; et de la façon dont nous nous adaptons.

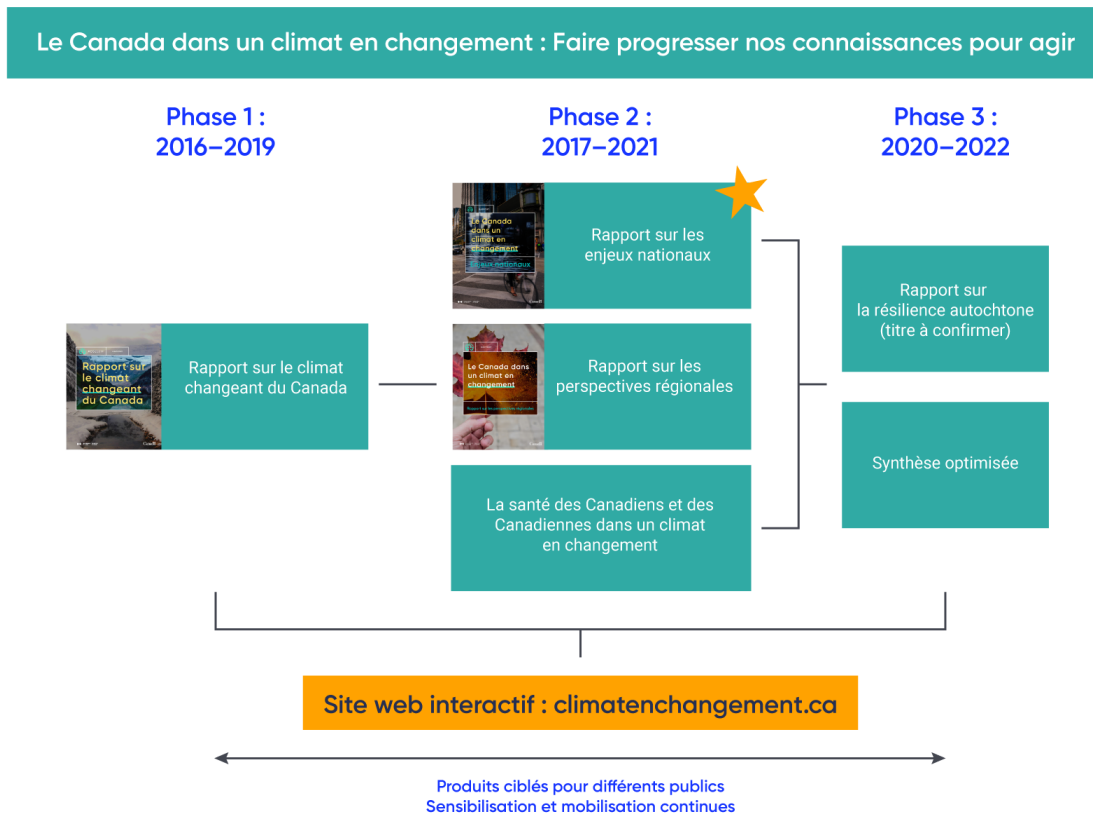


Figure O.1 : Vue d'ensemble des produits réalisés dans le cadre du *Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*. Ressources naturelles Canada dirige le processus et compte sur la collaboration d'un vaste partenariat d'experts en la matière ainsi que d'utilisateurs d'évaluations de tous les ordres de gouvernements, d'organisations autochtones, d'universités, de groupes professionnels et non gouvernementaux et du secteur privé. Pour en savoir plus sur le processus d'évaluation, visitez le site adaptation.rncan.gc.ca.

Le premier rapport de la série, [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (RCCC), a été publié en 2019. Il a évalué l'évolution du climat canadien, en couvrant les changements observés et prévus en matière de température, de précipitations, de neige, de glace, de pergélisol et de disponibilité de l'eau douce, notamment les changements dans les trois océans du Canada (voir l'encadré O.1).

Encadré O.1 : Énoncés principaux du Rapport sur le climat changeant du Canada

Le [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) comprend 10 énoncés principaux qui présentent une histoire concise sur les changements climatiques au Canada. Les énoncés sont résumés ci-dessous :

1. Le climat du Canada s'est réchauffé et se réchauffera davantage à l'avenir sous l'influence humaine.
2. Le réchauffement passé et futur au Canada est, en moyenne, environ le double de l'ampleur du réchauffement mondial.
3. Les océans qui bordent le Canada se sont réchauffés, sont devenus plus acides et moins oxygénés, ce qui correspond aux changements observés dans les océans mondiaux au cours du dernier siècle.
4. Les effets du réchauffement généralisé sont évidents dans de nombreuses régions du Canada et il est prévu qu'ils s'intensifieront dans le futur.
5. Les précipitations sont prévues d'augmenter pour la majorité du Canada, en moyenne, bien que les précipitations estivales puissent diminuer dans certaines régions.
6. La disponibilité saisonnière de l'eau douce est en train de changer vers un risque accru de pénuries d'eau en été.
7. Un climat plus chaud intensifiera certaines conditions météorologiques extrêmes dans le futur.
8. La durée et l'étendue des absences de glace marine dans les régions canadiennes des océans Arctique et Atlantique s'accroissent.
9. Les inondations côtières devraient augmenter dans de nombreuses régions du Canada en raison de l'élévation locale du niveau de la mer.
10. Le taux et l'ampleur des changements climatiques dans le cas d'un scénario d'émissions élevées par rapport à un scénario de faibles émissions prévoient deux avenir très différents pour le Canada.

Remarque : Les [énoncés principaux complets](#) peuvent être consultés sur climatenchangement.ca, et chaque énoncé renvoie à des sections précises des chapitres du rapport principal, où l'on peut trouver des données probantes à l'appui. Un degré de confiance élevé, voire plus élevé, est associé à chacun de ces énoncés, qui sont cohérents avec les messages clés des chapitres et s'en inspirent.

Le [Rapport sur les enjeux nationaux](#) s'appuie sur le RCCC et répond à des questions telles que les suivantes :

- Qu'est-ce que ces changements signifient pour les personnes vivant au Canada?

- Comment pouvons-nous nous adapter afin de renforcer la résilience, de réduire les risques et de saisir les occasions?
- Quelles avancées avons-nous réalisées dans la lutte contre les effets des changements climatiques et dans l'adaptation à ceux-ci?
- Quelles sont les lacunes en matière de connaissances et de mesures à prendre?

Le [Rapport sur les enjeux nationaux](#) se concentre sur les impacts des changements climatiques et les questions d'adaptation qui sont d'importance nationale ou qui sont mieux compris dans une perspective intégrée et pancanadienne. Il est articulé autour des principaux éléments de la durabilité – la société, l'environnement et l'économie – et comprend un chapitre sur les dimensions internationales.

Les principales constatations du Rapport sur les enjeux nationaux

1. **Partout au pays, les changements climatiques ont des répercussions sur les infrastructures, la santé et le bien-être, la culture et l'économie de collectivités de toutes tailles.** Les mesures prises à l'échelle locale pour réduire les risques liés aux changements climatiques se multiplient, même si le manque de moyens met à mal la capacité d'action de nombreuses collectivités (voir les chapitres « [Villes et milieux urbains](#) » et « [Collectivités rurales et éloignées](#) »).
2. **Les changements climatiques menacent les services vitaux offerts par les écosystèmes du Canada et ont des impacts négatifs sur nos ressources en eau.** Une coordination, une coopération et une gestion adaptative efficaces, de même que des efforts de conservation, peuvent aider à atténuer ces impacts. Les approches en matière d'adaptation basées sur la nature qui maintiennent ou restaurent les écosystèmes, tels que les terres humides, sont un moyen rentable et durable d'atténuer les impacts des changements climatiques et de renforcer la résilience (voir les chapitres « [Services écosystémiques](#) », « [Ressources en eau](#) » et « [Villes et milieux urbains](#) »).
3. **Si les changements climatiques présentent certains avantages potentiels, ils entraîneront globalement des coûts économiques croissants pour le Canada.** Un climat changeant affecte tous les secteurs de l'économie canadienne, par ses effets sur la production, l'exploitation ou la perturbation des chaînes d'approvisionnement. La divulgation des risques liés aux changements climatiques se révèle être un moteur essentiel de l'adaptation dans le secteur privé (voir les chapitres « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) », « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) » et « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »).
4. **Nous devons regarder au-delà de nos frontières lorsque nous évaluons les impacts d'un climat en changement sur le Canada.** Les impacts des changements climatiques qui se produisent ailleurs dans le monde, ainsi que les mesures que d'autres pays prennent – ou ne prennent pas – pour s'adapter, peuvent fortement affecter la disponibilité alimentaire, le commerce et l'immigration. Ces impacts exercent une pression supplémentaire sur les collectivités, les entreprises et les services gouvernementaux du Canada (voir le chapitre « [Dimensions internationales](#) »).
5. **D'importantes lacunes subsistent dans notre préparation aux changements climatiques,**

comme l'ont montré les récents impacts des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les inondations et les feux de forêt. Il est essentiel pour le bien-être économique et social du Canada d'accélérer les progrès en matière d'adaptation grâce à des plans et des mesures rapides et réfléchis (tous les chapitres).

6. **Des enseignements sur les bonnes pratiques continuent d'être tirés et contribuent à guider une adaptation réussie.** Ces enseignements comprennent le renforcement d'un leadership fort, la collaboration à grande échelle et l'adoption d'approches de gestion souples. L'intégration de diverses perspectives et sources de connaissances, telles que les systèmes de connaissances autochtones, est également indispensable à une adaptation efficace (tous les chapitres).

Aller de l'avant

Alors que le monde entier répond à la pandémie de COVID-19, l'adaptation aux changements climatiques bénéficie de nouvelles perspectives. La réponse mondiale permet de faire preuve d'un très grand optimisme. Elle a montré qu'une fois que les individus, les entreprises et les gouvernements comprennent les risques associés à la COVID-19, ils sont prêts à apporter des changements majeurs pour protéger les vies et les moyens de subsistance, même lorsqu'ils sont confrontés à de l'incertitude. Elle a également démontré l'importance de la prise de mesures à tous les paliers, les avantages qui peuvent être obtenus par la coopération entre plusieurs gouvernements et le rôle essentiel du secteur privé et de la société civile. Il est important de noter que le contenu des chapitres de ce rapport a été finalisé avant le début de la pandémie. Les chapitres ne traitent donc pas des impacts de la pandémie ou des relations potentielles entre les changements climatiques et COVID-19.

De nombreuses recherches indiquent que les efforts d'adaptation actuels sont insuffisants face à l'accumulation rapide des pertes sociales et économiques dues aux impacts actuels et futurs des changements climatiques. Les recherches démontrent également que la fin de la période propice pour réduire les impacts de plus en plus graves s'approche rapidement (Rogelj et coll., 2019; GIEC, 2018). Des mesures urgentes soutenues par des investissements massifs sont nécessaires, tant pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et qu'accroître la résilience climatique par l'adaptation. Les décisions prises aujourd'hui détermineront l'ampleur des changements futurs du climat canadien, notre résilience face à ces changements et notre capacité à gérer les risques liés aux changements climatiques. Il est impératif de prendre des décisions fondées sur des données probantes pour limiter les coûts, protéger les vies et les moyens de subsistance, et assurer un avenir durable aux Canadiens.



CHAPITRE 1

Introduction

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteurs principaux

Fiona Warren, Ressources naturelles Canada

Nicole Lulham, Ressources naturelles Canada

Auteurs collaborateurs

Encadré 1.1 :

Stewart Cohen, climatologue indépendant, Environnement et Changement climatique Canada (retraité)

Laura Sarmiento

Citation recommandée

F.J. Warren et N. Lulham (2021) : Introduction, Chapitre 1 dans *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, F.J. Warren et N. Lulham (éd.), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario).

1.1 Introduction

En 2014, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a affirmé que « le réchauffement du système climatique est sans équivoque » (GIEC, 2014). Depuis lors, les signes de changements n'ont cessé de s'accumuler, dont des augmentations de température observées (sur les continents et les océans), une élévation du niveau de la mer, une perte de couverture de neige et de glace, et une modification des régimes de précipitations à l'échelle mondiale (p. ex. GIEC, 2018; 2019; USGCRP, 2018). Bon nombre des changements provoqués par l'augmentation de la température sont sans précédent, et la plupart devraient persister et s'intensifier au cours du siècle actuel (Bush et coll., 2019; GIEC, 2014). On constate également que les changements climatiques peuvent avoir une incidence sur presque tous les aspects de notre vie : notre santé et notre bien-être, notre économie, notre environnement, et même notre identité et notre conscience de soi. Il est également de plus en plus clair que les impacts ne sont pas uniformément répartis et que des régions, populations et groupes sont touchés de manière disproportionnée.

Nous observons aussi ces tendances au Canada. Le réchauffement observé au pays est, en moyenne, environ deux fois plus important que le réchauffement planétaire (Bush et Lemmen, 2019), les régions septentrionales du pays connaissant les taux de changement les plus marqués (voir la figure 1.1). Nous connaissons davantage d'épisodes de chaleur extrême, moins de froid extrême, des saisons de croissance plus longues, des saisons de couverture de neige et de glace plus courtes, un pic de débit printanier plus précoce, la fonte des glaciers, un dégel du pergélisol et une élévation du niveau de la mer (Bush et Lemmen, 2019). Les pertes dues à des phénomènes extrêmes, tels que les inondations et les feux de forêt, sont également en augmentation. Dans des sondages canadiens récents, 87 % des répondants ont indiqué qu'ils voyaient déjà les effets des changements climatiques dans leur collectivité (Ressources naturelles Canada, 2019), et 93 % ont indiqué qu'ils croyaient que les changements climatiques avaient des répercussions sur leur santé actuellement ou en auront à l'avenir (Environics Research Group, 2017).

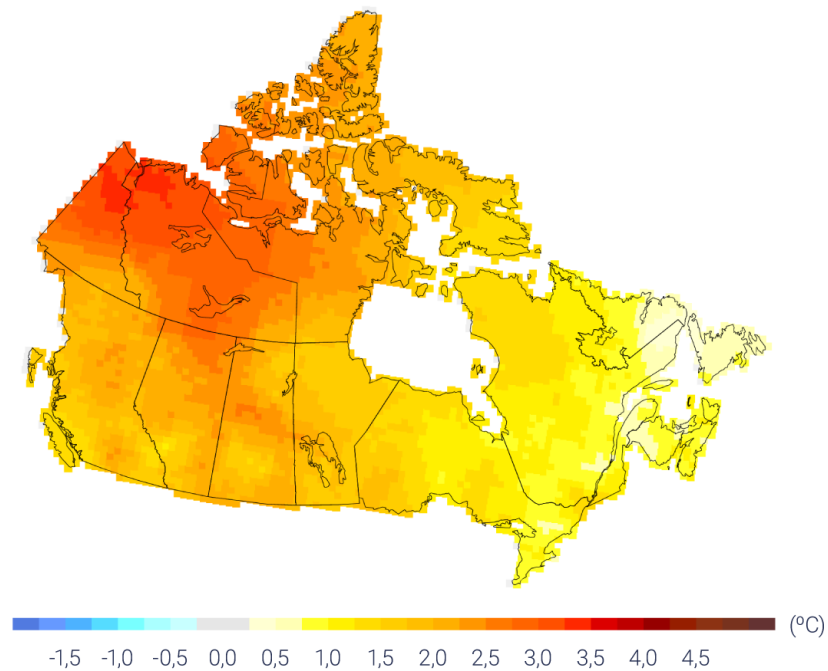
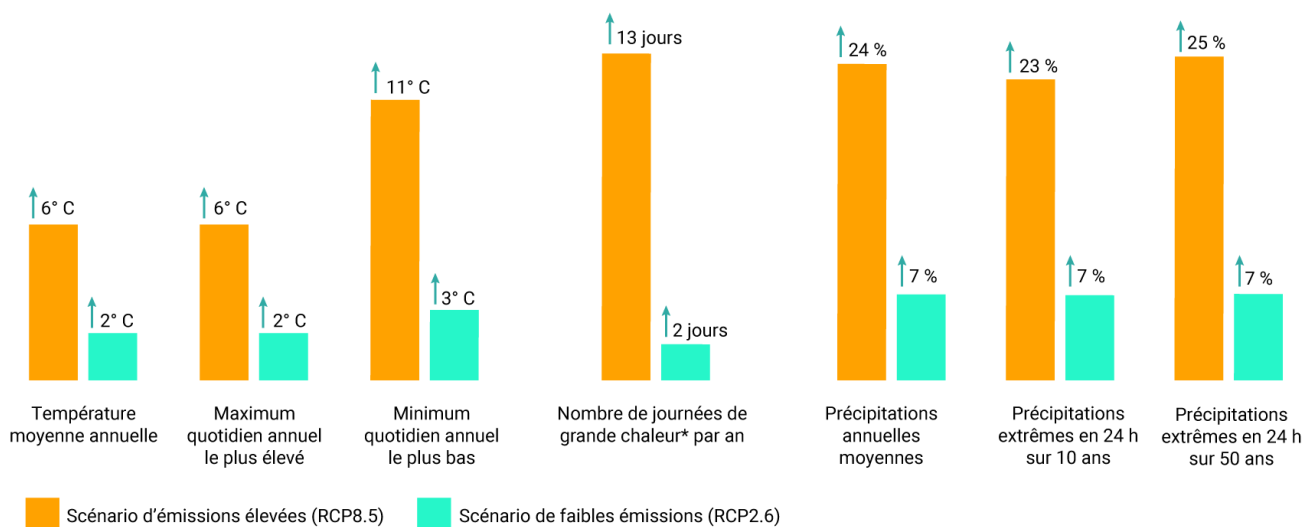


Figure 1.1 : Carte illustrant les changements observés dans la température annuelle (°C) au Canada entre 1948 et 2016. Source : Zhang et coll., 2019.

Ces tendances observées et ces impacts démontrés ont fermement établi le fondement scientifique des changements climatiques. Les débats à savoir si les changements climatiques sont réels ont été largement remplacés par des discussions concernant les mesures à prendre. La nécessité de se préparer aux changements climatiques et d'y faire face s'accroît chaque jour. Les décisions prises aujourd'hui pour lutter contre les impacts des changements climatiques auront des répercussions importantes et durables sur la société, l'économie et l'environnement du Canada. Cependant, s'il est manifestement urgent d'agir contre les changements climatiques (GIEC, 2018), la voie à suivre peut être complexe. Les changements climatiques sont un problème d'ordre mondial dont les effets sont vastes, généralisés, interdépendants et souvent complexes, et ce, à toutes les échelles. À un niveau élémentaire, il existe deux modes de réponse d'une importance capitale, soit l'atténuation (la réduction des émissions de gaz à effet de serre ou GES) et l'adaptation, qui sont liés et interdépendants (voir l'encadré 1.1).

Encadré 1.1 : Liens entre l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs impacts

Des liens importants existent entre les mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) (l'atténuation des changements climatiques) et celles visant à renforcer la résilience afin de faire face aux impacts des changements climatiques (l'adaptation). Comme le souligne le [Rapport sur le climat changeant du Canada](#), « le taux et l'ampleur des changements climatiques dans le cas d'un scénario d'émissions élevées par rapport à un scénario de faibles émissions prévoient deux avenir très différents pour le Canada » (voir la figure 1.2). Au final, le succès de l'adaptation au Canada sera influencé par la voie que suivra le monde en matière d'émissions de GES.



* Journée de grande chaleur = température maximale quotidienne supérieure à 30 °C

Figure 1.2 : Les différences entre les projections des variables climatiques selon les scénarios d'émissions élevées ou de faibles émissions révèlent deux avenir potentiels différents pour le Canada. Le scénario d'émissions élevées (RCP8.5) est associé à une augmentation de la température mondiale d'environ 3,7 °C d'ici la fin du siècle, par rapport à la période de référence 1986–2005, tandis que le scénario de faibles émissions (RCP2.6) est associé à une augmentation de la température mondiale d'environ 1,0 °C pour la même période. Source : Adapté du Gouvernement du Canada, 2019.

À mesure que le réchauffement s'accroît, les risques et les impacts liés aux changements climatiques augmentent également (GIEC, 2018). En raison de l'augmentation du rythme et de l'ampleur du réchauffement, il est plus difficile de mettre en place des mesures d'adaptation permettant d'assurer une protection suffisante contre ces impacts. Cela signifie que des impacts importants subsisteraient même après la mise en œuvre de mesures d'adaptation et que les risques d'atteindre les limites de l'adaptation

sont plus grands (Klein et coll., 2014). On atteint les limites de l'adaptation lorsqu'il n'existe plus d'options d'adaptation pratiques ou réalisables, ce qui signifie que des risques insoutenables doivent être acceptés, que des objectifs d'adaptation doivent être abandonnés ou que des mesures de transformation et de dernier recours doivent avoir lieu, telles que la relocalisation ou le retrait (Dow et coll., 2013).

Les interactions entre les décisions en matière d'adaptation et d'atténuation sont illustrées à la figure 1.3. Des avantages connexes et des synergies peuvent être obtenus pour les mesures qui ont à la fois des objectifs d'adaptation et d'atténuation (section supérieure droite). On parle alors d'approches durables « gagnant-gagnant ». Par exemple, le recours à des approches d'adaptation fondées sur la nature dans les villes permet de créer des milieux urbains plus résistants aux vagues de chaleur (réduisant les impacts sur la santé qui en découlent) et aux précipitations intenses (réduisant les inondations qui y sont associées), tout en séquestrant le carbone et en réduisant la demande d'énergie (voir le chapitre « [Villes et milieux urbains](#) »). Les sections supérieure gauche et en inférieure droite présentent les compromis en matière de risques qui peuvent résulter de certaines mesures conçues pour atteindre un seul objectif (soit l'adaptation ou l'atténuation), mais qui peuvent en contrepartie nuire à l'autre objectif. Par exemple, certaines décisions en matière d'adaptation peuvent entraîner une augmentation des émissions de GES (p. ex. la hausse de l'utilisation de climatiseurs pendant les épisodes de chaleur); de même, certaines mesures d'atténuation augmentent la vulnérabilité ou le risque local (p. ex. un réseau électrique plus vulnérable aux pénuries d'eau qui pourraient être causées par une utilisation accrue d'hydroélectricité). La priorité doit être accordée à la minimisation ou à l'évitement de ces conséquences négatives lors de la planification des mesures visant à lutter contre les changements climatiques.

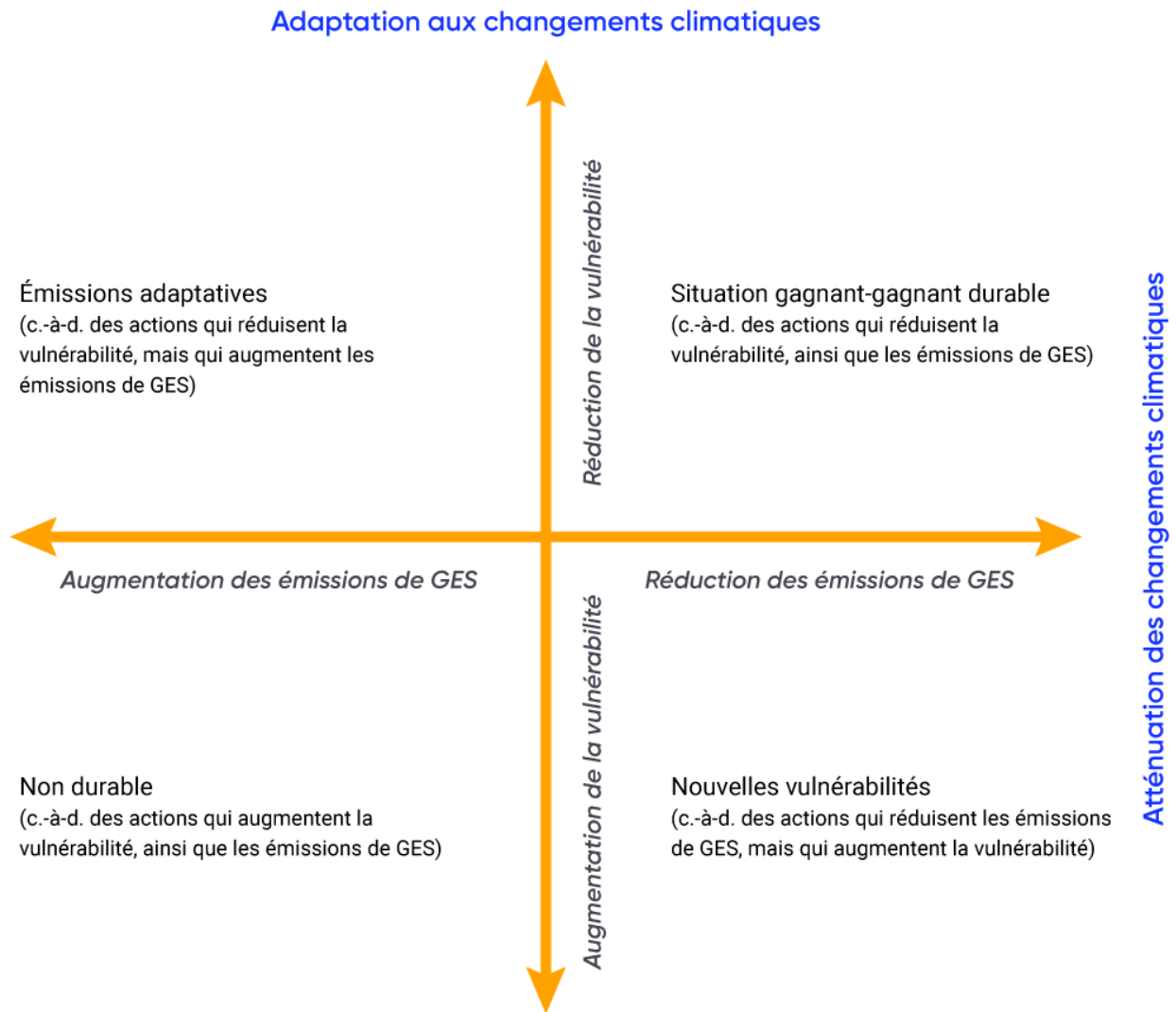


Figure 1.3 : Exemples de compromis et d'avantages connexes de mesures lorsqu'il existe des liens entre l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à leurs impacts. Source : Adapté de Jones et coll., 2014.

Ce rapport est axé sur l'adaptation aux changements climatiques, c'est-à-dire sur les mesures qui réduisent les impacts négatifs des changements climatiques ou qui permettent de tirer parti de nouvelles occasions. L'adaptation renforce la résilience et réduit les risques liés aux impacts actuels et futurs des changements climatiques. Elle implique l'ajustement des plans, des politiques et des mesures, et elle peut être réactive (c.-à-d. se produire en réponse aux impacts des changements climatiques) ou proactive (c.-à-d. se produire avant que les impacts des changements climatiques ne soient observés). En tant que concept, l'adaptation est simple; dans la pratique, cependant, elle peut aller de la simplicité à une incroyable complexité. Nos

connaissances quant à la manière dont les changements climatiques affectent les groupes et les segments vulnérables de la population continuent d'évoluer, mettant en évidence les importantes dimensions socio-économiques et d'équité que revêtent les décisions en matière d'adaptation. L'adaptation offre également la possibilité de générer d'importants avantages connexes, de sorte que les investissements destinés à lutter contre les effets des changements climatiques dans un secteur ou un domaine particulier peuvent se traduire par des avantages pour d'autres secteurs. En revanche, des conséquences inattendues peuvent survenir si la planification et les décisions ne tiennent pas suffisamment compte du système et du contexte général dans lesquels les décisions sont prises.

Pour aider à faire face aux complexités et à promouvoir la prise de mesures d'adaptation aux changements climatiques, les décideurs doivent avoir accès à des renseignements fiables. Les évaluations des connaissances sur les impacts des changements climatiques et sur l'adaptation à ces changements répondent à ce besoin en fournissant aux décideurs les bases nécessaires pour prendre des décisions fondées sur des données probantes. Ces évaluations présentent une synthèse des connaissances existantes sur les enjeux clés en suivant un processus rigoureux qui veille à ce que les rapports finaux soient crédibles, pertinents et utiles pour les décideurs. Tout en étant pertinentes pour les politiques et structurées pour éclairer les décisions, les évaluations ne sont pas prescriptives et elles ne fournissent pas d'instructions ni de recommandations précises. Les évaluations peuvent être réalisées à différentes échelles, allant des évaluations internationales du GIEC aux initiatives nationales, régionales et locales. Les évaluations des connaissances diffèrent des évaluations des risques, qui appliquent des méthodes analytiques pour estimer la probabilité et les conséquences des risques associés aux impacts actuels et futurs des changements climatiques. Cependant, les évaluations des risques peuvent à la fois alimenter et être alimentées par les évaluations des connaissances. Parmi les exemples récents d'évaluations des risques au Canada, on peut citer celles réalisées à l'échelle nationale (p. ex. CCA, 2019) et à l'échelle régionale (p. ex. Ministère de l'Environnement et de la Stratégie sur les changements climatiques, 2019).

1.2 Le processus d'évaluation nationale des connaissances du Canada

Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir est le processus d'évaluation des connaissances à l'échelle nationale du Canada. Lancé en 2017, il s'appuie sur des évaluations antérieures des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ceux-ci menées par le gouvernement du Canada, qui ont examiné les principaux enjeux pour le Canada selon des perspectives régionales (Lemmen et coll., 2016; Lemmen et coll., 2008) et sectorielles (Palko et Lemmen, 2017; Warren et Lemmen, 2014; Seguin, 2008). Le processus actuel d'évaluation nationale des connaissances produit une série de rapports dans lesquels on évalue comment et pourquoi le climat du Canada change, les impacts de ces changements sur nos collectivités, notre environnement et notre économie, et comment nous nous adaptons (voir l'encadré 1.2). Ces rapports constituent des ressources pour les Canadiens; ils sensibilisent

aux problèmes auxquels notre pays est confronté et fournissent des renseignements permettant de prendre des décisions et des mesures fondées sur des données probantes pour faire face aux changements climatiques et s'adapter à leurs effets. [Le Rapport sur les enjeux nationaux](#) est le deuxième rapport complet à être publié dans la série d'évaluation actuelle, suivant la publication du [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) en 2019.

Encadré 1.2 : Aperçu des produits inclus dans le processus d'évaluation nationale des connaissances 2016–2021

Au total, cinq rapports d'évaluation seront publiés dans le cadre du processus actuel d'évaluation nationale des connaissances (2016–2022), en trois phases (voir la figure 1.4). Le premier rapport de la série, [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (2019), présente les fondements de la science du climat, évaluant comment et pourquoi le climat du Canada a changé et quels sont les changements attendus à l'avenir. Les rapports suivants se concentrent sur la manière dont ces changements affectent le pays aujourd'hui et l'affecteront à l'avenir, sur notre vulnérabilité face aux impacts des changements climatiques et sur le rôle de l'adaptation dans la réduction des risques et le renforcement de la résilience. Afin de toucher un public plus large, le processus est appuyé par un site Web interactif (<https://changingclimate.ca/fr/>), et une série de produits complémentaires ciblés sont en cours d'élaboration. L'amélioration de la mobilisation a été une priorité tout au long du processus. À partir de la réunion d'établissement de la portée de 2016, on a offert au public et aux experts des occasions d'apporter leur contribution à l'évaluation actuelle, notamment par le biais d'ateliers, de conférences, d'enquêtes et de consultations en ligne.

Veillez consulter la [FAQ](#) pour de plus amples renseignements sur le processus actuel d'évaluation nationale des connaissances.

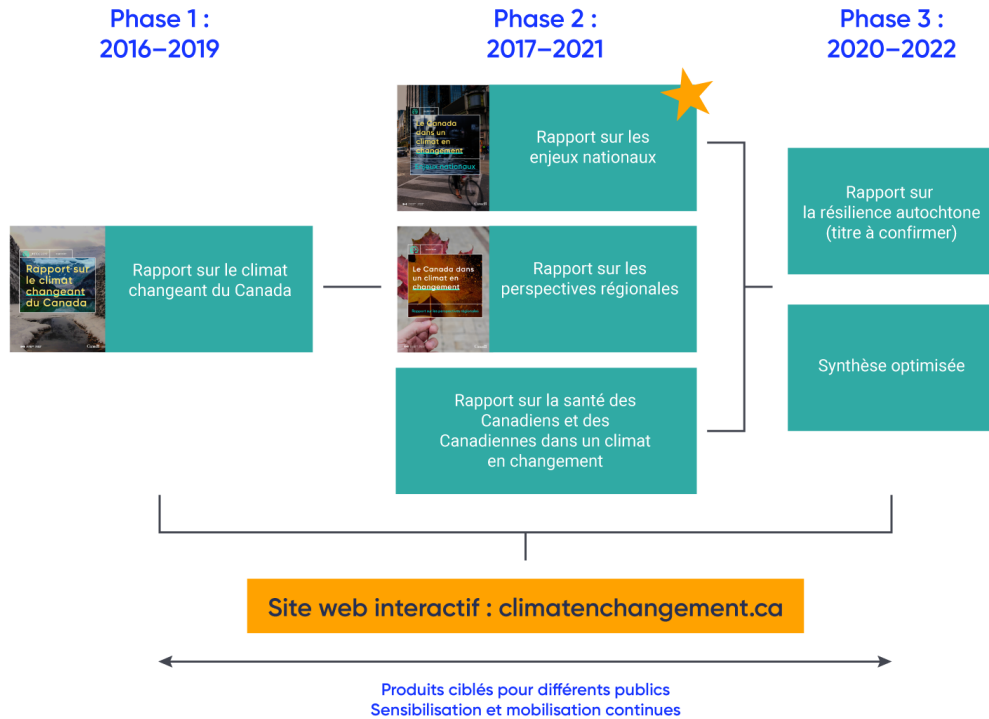
Le Canada dans un climat en changement : Faire progresser nos connaissances pour agir

Figure 1.4 : Les rapports élaborés dans le cadre du processus actuel d'évaluation nationale des connaissances (2016–2022), *Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*.

1.3 Portée et structure du Rapport sur les enjeux nationaux

Le [Rapport sur les enjeux nationaux](#) offre une perspective nationale sur les impacts des changements climatiques sur nos collectivités, notre environnement et notre économie, et sur la manière dont nous nous adaptons pour réduire les risques. Il se concentre sur des thèmes d'importance nationale qui bénéficient d'une perspective intégrée et pancanadienne. Il a pour but de soutenir les décisions fondées sur des données probantes, d'aider les décideurs à tirer des enseignements de mesures d'adaptation qui ont été mises en pratique et de les inciter à mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Outre l'introduction, le rapport comprend les huit chapitres suivants :

- [Villes et milieux urbains](#)
- [Collectivités rurales et éloignées](#)
- [Ressources en eau](#)
- [Services écosystémiques](#)
- [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#)
- [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#)
- [Divulgence, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#)
- [Dimensions internationales](#)

Ensemble, ces chapitres présentent un portrait clair des impacts actuels et futurs des changements climatiques sur la société, l'environnement et l'économie du Canada. Le rapport corrobore les conclusions des évaluations précédentes selon lesquelles les effets des changements climatiques sont ressentis par tous les secteurs du pays et sont souvent cumulatifs, intersectoriels et de plus en plus fréquents et importants. Chaque chapitre aborde les principales vulnérabilités, les risques et les défis ainsi que les approches nouvelles et novatrices en matière d'adaptation, en plus de présenter les lacunes dans nos connaissances et les nouveaux enjeux afin d'aider à établir un point de référence et de guider les travaux futurs. Des études de cas sont présentées tout au long du rapport afin d'illustrer des exemples d'adaptation provenant des quatre coins du pays et de permettre à différentes voix de se faire entendre.

Le contenu de chaque chapitre est articulé autour de **messages clés**, qui sont des déclarations générales qui donnent une vue d'ensemble des principaux enjeux auxquels la région ou le secteur est confronté, et qui reflètent l'état des connaissances sur les impacts des changements climatiques et sur les mesures d'adaptation. Cette approche a permis d'approfondir, dans chacun des chapitres, les enjeux prioritaires pour les intervenants et les partenaires, telles que définies par les activités de participation et de sensibilisation, plutôt que d'évaluer tous les enjeux pertinents relatifs à un sujet ou à une région donnée. Chaque chapitre contient de cinq à huit messages clés, chacun d'entre eux étant appuyé par un résumé en langage clair.

Le rapport repose sur les connaissances existantes en matière d'impacts des changements climatiques et d'adaptation à ceux-ci, provenant d'un large éventail de sources, notamment des articles évalués par des pairs, des ouvrages plus généraux, les points de vue de spécialistes, ainsi que les connaissances autochtones et les connaissances locales. Il ne comprend pas de nouvelles recherches. Une meilleure prise en compte des connaissances autochtones était une des priorités du rapport, et la plupart des chapitres comprennent un message clé sur les connaissances autochtones ou des études de cas qui abordent des thèmes autochtones liés aux impacts des changements climatiques et à l'adaptation à ceux-ci. En raison des délais de production, il a été nécessaire d'inclure des dates limites pour l'incorporation de nouvelles sources de connaissances; ainsi, les chapitres peuvent ne pas faire référence à la documentation ou aux connaissances les plus récentes sur un sujet donné. Le contenu de l'évaluation a également été finalisé avant l'avènement de la pandémie de COVID-19 et ne traite donc pas des impacts de la pandémie ni des relations potentielles entre les changements climatiques et la COVID-19.

1.4 Références

Bush, E. et Lemmen, D.S. (éd.) (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. 444 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>

Bush, E., Gillett, N., Watson, E., Fyfe, J., Vogel, F. et Swart, N. (2019). Comprendre les changements climatiques mondiaux observés, Chapitre 2 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 25–72. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/2-0/>>

Conseil des académies canadiennes (2019). Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada : Le comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation. Conseil des académies canadiennes, Ottawa, Ontario. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.rapports-cac.ca/reports/accorder-la-priorite-aux-plus-importants-risques-poses-par-les-changements-climatiques/>>

Environics Research Group (2017). « Public Perceptions of Climate Change and Health Final Report ». Préparé pour Santé Canada, 71 p.

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). Résumé à l'intention des décideurs dans *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels*. (Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, –32. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5_wgII_spm_fr.pdf>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019). L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, Rapport spécial du GIEC, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2018). Résumé à l'intention des décideurs dans *Réchauffement planétaire de 1,5 °C*. Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf>

Gouvernement du Canada (2019). Infographie – Le climat changeant du Canada : Changements prévus au cours du siècle. Consulté en janvier 2021 sur le site <https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2019/04/6269_infographic_Canada_FR_v02.pdf>

Jones, R.N., Patwardhan, A., Cohen, S.J., Dessai, S., Lammell, A., Lempert, R., Mirza, M.M.Q. et von Storch, H. (2014). « Foundations for decision making », Chapitre 2 dans *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels*. (Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 195–228. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap2_FINAL.pdf>

Klein, R.J.T., Midgley, G.F., Preston, B.L., Alam, M., Berkhout, F.G.H., Dow, K. et Shaw, M.R. (2014). « Adaptation opportunities, constraints, and limits », Chapitre 16 dans *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels*. (Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 899–943. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap16_FINAL.pdf>

Lemmen, D.S., Warren, F.J., James, T.S. et Mercer Clarke, C.S.L. (éd.). (2016). *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 274 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391>>

Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush, E. (éd.) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/what-adaptation/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada/10254>>

Ministère de l'Environnement et de la Stratégie sur les changements climatiques (2019). « Preliminary Strategic Climate Risk Assessment for British Columbia ». Rapport préparé pour le gouvernement de la Colombie-Britannique, Victoria, C.-B.. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/adaptation/risk-assessment>>

Palko, K. et Lemmen, D.S. (éd.). (2017). *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/risques-climatiques-et-pratiques-en-matiere-dadaptation-pour-le-secteur-canadien-des-transports-2016/19630>>

Ressources naturelles Canada (2019). « Canada in a Changing Climate: 2019 user survey ».

Seguin, J. (éd.) (2008). *Santé et changements climatiques : Évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada*. Santé Canada, Ottawa, Ontario. Consulté en mars 2021 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/hc-sc/H128-1-08-528F.pdf>

USGCRP (2018). « Fourth National Climate Assessment, Volume II: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States », D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). Programme de recherche sur les changements climatiques des États-Unis, Washington, D.C., États-Unis, 1515 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://nca2018.globalchange.gov/>>

Warren, F.J. et Lemmen, D.S. (2014). Synthèse dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 1–18. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Synthese_Fra.pdf>

Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V.V. (2019). Les changements de température et de précipitations au Canada, Chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 112–193. Consulté en mars 2021 sur le site <https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2019/01/RCCC_Chapitre4-Les-changements-de-tempe%CC%81rature-et-de-pre%CC%81cipitations-au-Canada.pdf>



CHAPITRE 2

Villes et milieux urbains

RAPPORT SUR LES ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement du Canada
Government of Canada

Canada



Auteur coordonnateur principal

Craig Brown, Ph. D., Vancouver Coastal Health

Auteurs principaux

Ewa Jackson, ICLEI Canada

Deborah Harford, Adaptation to Climate Change Team, Université Simon Fraser

David Bristow, Ph. D., Génie civil, Université de Victoria

Auteurs collaborateurs

Dan Sandink, Institut de prévention des sinistres catastrophiques

Heather Dorries, Ph. D., School of Public Policy and Administration, Université Carleton

Mark Groulx, Ph. D., School of Environmental Planning, Université de Northern British Columbia

Zainab Moghul, Ph. D., Environnement et Changement climatique Canada

Sophie Guilbault, Institut de prévention des sinistres catastrophiques

Le Ministère des Traités, des Terres et des Ressources – Nation Tsleil-Waututh

Anika Bell, Université de Victoria

Citation recommandée

Brown, C., Jackson, E., Harford, D. et Bristow, D. (2021) : Villes et milieux urbains; chapitre 2 dans Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario

Table des matières

Messages clés	31
2.1 Introduction	33
2.1.1 Villes et milieux urbains	33
2.1.2 Impacts des changements climatiques dans les villes et les milieux urbains	35
2.2 Les changements climatiques menacent les infrastructures vieillissantes du Canada	38
2.2.1 Introduction	38
2.2.2 Approches et mécanismes destinés à réduire les risques	39
2.2.3 Outils d'aide à la décision	40
2.2.4 Financement	42
2.2.5 Interdépendances	44
Étude de cas 2.1 : Améliorer la résilience des infrastructures à Fredericton (Nouveau-Brunswick) pour réduire les risques d'inondation	45
2.3 L'amélioration des espaces verts aide les villes et les milieux urbains à s'adapter aux changements climatiques	47
2.3.1 Introduction	47
2.3.2 Aménagement à faible impact	50
2.3.3 Biodiversité urbaine	51
2.3.4 Forêts urbaines	52
2.3.5 Approvisionnement en eau	53
2.3.6 Planification multifonctionnelle du paysage	53
Étude de cas 2.2 : Étude pilote de l'évaluation des actifs naturels à Nanaimo, en Colombie-Britannique	54
2.4 Les changements climatiques frapperont le plus durement ceux qui sont déjà vulnérables dans les villes et les milieux urbains	56
2.4.1 Impacts sur les personnes et les collectivités	56
2.4.2 Déterminants sociaux	57
2.4.3 Des systèmes sociaux solides	61
2.4.4 Augmentation de l'équité	61
2.4.5 Adaptation axée sur le milieu	62
Étude de cas 2.3 : Victoria Call to Action : Renforcer la résilience grâce à des collectivités prospères et inclusives	63

2.5 C'est en travaillant ensemble que l'on obtient les meilleurs résultats	64
2.5.1 Introduction	64
2.5.2 Coproduction	64
2.5.3 Administrations municipales	65
2.5.4 Secteurs privé et public	66
2.5.5 Citoyens	67
2.5.6 Organismes d'intermédiation	68
Étude de cas 2.4 : Projet Lighthouse de Brampton : Soutenir les populations vulnérables lors de phénomènes météorologiques extrêmes	70
2.6 Les peuples autochtones des villes et des milieux urbains sont souvent affectés de façons uniques par les changements climatiques	71
2.6.1 Introduction	72
2.6.2 Impacts des changements climatiques sur les Premières nations, les Métis et les Inuits	73
2.6.3 Connaissances autochtones et changements climatiques	74
2.6.4 Adaptation et réconciliation	75
Étude de cas 2.5 : Planification de la résilience communautaire aux changements climatiques dans la Nation Tsleil-Waututh	75
2.7 Les villes et les milieux urbains passent de la planification à la mise en œuvre de l'adaptation	77
2.7.1 Introduction	77
2.7.2 Obstacles à l'adaptation	78
2.7.3 Faire progresser la mise en œuvre de l'adaptation	80
Étude de cas 2.6 : Mesures d'adaptation et avantages connexes résultant de la mise à niveau de la rue Saint-Maurice à Trois-Rivières, QC	84
2.8 Le suivi et l'évaluation de l'adaptation constituent une étape importante et souvent négligée	86
2.8.1 Introduction	86
2.8.2 Progrès et approches	87
Étude de cas 2.7 : Suivi des progrès en matière d'adaptation grâce au tableau de bord de la durabilité de la ville de Surrey	88
2.9 Aller de l'avant	89
2.9.1 Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche	89
2.9.2 Nouveaux enjeux	90
2.10 Conclusion	91
2.11 Références	92

Messages clés

Les changements climatiques menacent les infrastructures vieillissantes du Canada (voir la section 2.2)

Des infrastructures sûres et fiables et des bâtiments résilients sont essentiels à la vie dans les villes et les milieux urbains. Les changements prévus du climat augmenteront les risques pour les infrastructures vieillissantes du Canada, causant des dommages structuraux, compromettant la fiabilité du système et menaçant la santé et la sécurité. L'intégration des informations sur les changements climatiques dans la conception, l'exploitation et la gestion des projets d'infrastructure contribuera à réduire les risques au minimum.

L'amélioration des espaces verts aide les villes et les milieux urbains à s'adapter aux changements climatiques (voir la section 2.3)

Les infrastructures vertes, telles que les parcs, les terres humides et les toits verts, dans les villes et les milieux urbains du Canada, augmentent la qualité de vie des résidents et améliorent la résilience aux changements climatiques. Reconnaître la valeur des avantages associés aux infrastructures vertes et aux solutions d'adaptation basées sur la nature sera utile pour faire progresser leur utilisation afin de réduire les impacts des changements climatiques et d'autres facteurs de stress.

Les changements climatiques frapperont le plus durement ceux qui sont déjà vulnérables dans les villes et les milieux urbains (voir la section 2.4)

Les changements climatiques auront un impact sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités dans les villes et les milieux urbains. Toutefois, les membres de la société ne seront pas tous affectés de la même manière par les effets négatifs des changements climatiques. La prise en compte de l'équité sociale dans les décisions en matière d'adaptation contribuera à réduire la vulnérabilité des personnes les plus à risque et garantira une répartition équitable des avantages.

C'est en travaillant ensemble que l'on obtient les meilleurs résultats (voir la section 2.5)

Les approches efficaces d'adaptation aux changements climatiques tiennent compte de la diversité des perspectives et priorités. Les administrations locales contribuent de plus en plus à la collaboration fructueuse avec différentes parties prenantes lorsqu'il s'agit de concevoir, de planifier et de mettre en œuvre l'adaptation dans leurs collectivités.

Les peuples autochtones des villes et des milieux urbains sont souvent affectés de façons uniques par les changements climatiques (voir la section 2.6)

Les villes et les milieux urbains du Canada abritent de nombreuses populations autochtones qui sont souvent affectées de façons uniques par les changements climatiques. Une attention particulière est accordée aux questions autochtones, et l'intégration des perspectives et de l'expertise autochtones dans les processus municipaux de planification de l'adaptation existe, mais elle n'est pas généralisée. Le renforcement de la collaboration avec les peuples autochtones nécessitera une capacité accrue et des études supplémentaires.

Les villes et les milieux urbains passent de la planification à la mise en œuvre de l'adaptation (voir la section 2.7)

La mise en œuvre des initiatives en matière d'adaptation par les villes et les milieux urbains ne suit pas la progression des risques posés par les phénomènes météorologiques extrêmes actuels et les changements climatiques futurs. Toutefois, les exemples de mise en œuvre se multiplient et les obstacles diminuent. Des pratiques prometteuses telles que l'intégration et des modalités de financement novatrices offrent des occasions d'intensifier et d'accélérer la mise en œuvre.

Le suivi et l'évaluation de l'adaptation constituent une étape importante et souvent négligée (voir la section 2.8)

Des méthodes de suivi et d'évaluation sont nécessaires pour suivre les progrès de l'adaptation et mesurer si les efforts d'adaptation aboutissent aux résultats souhaités. Bien que des approches prometteuses existent, le suivi et l'évaluation des projets d'adaptation et de leurs résultats sont encore rares, et il demeure avantageux d'aider les villes et les milieux urbains à élaborer des approches efficaces et exhaustives.

2.1 Introduction

2.1.1 Villes et milieux urbains

Plus de 80 % des Canadiens vivent dans des zones urbaines (voir l'encadré 2.1; Statistique Canada, 2017a), et plus de la moitié (51,8 %) de la population autochtone du Canada vit dans une zone métropolitaine d'au moins 30 000 personnes (Statistique Canada, 2017b). Nos villes et nos milieux urbains contribuent à l'économie nationale et fournissent des ressources et des possibilités qui contribuent à la santé et au bien-être des personnes et des collectivités. Bien que les villes et les milieux urbains possèdent de nombreux attributs qui accroissent leur capacité d'adaptation (Ressources naturelles Canada, 2016), la concentration des populations, l'exposition au risque des actifs ayant une grande valeur économique, les infrastructures vieillissantes, les écosystèmes dégradés et les inégalités sociales peuvent rendre les zones urbaines et leurs habitants très vulnérables aux changements climatiques (voir la figure 2.1; Maxwell et coll., 2018).



Figure 2.1 : Les actifs et les défis qui affectent la capacité d'adaptation dans les villes et les milieux urbains.

Les changements climatiques au Canada sont déjà évidents et devraient se poursuivre. Par exemple, certaines régions du pays ont connu des températures plus élevées, plus de chaleur extrême, moins de froid extrême, des saisons de couverture de neige et de glace plus courtes, un écoulement fluvial de pointe plus précoce au printemps et une élévation du niveau de la mer (Bush et Lemmen, 2019). En outre, une augmentation des précipitations est prévue pour la plupart des régions du Canada, en moyenne, bien que les précipitations estivales puissent diminuer dans certaines régions. Des pluies plus intenses augmenteront les risques d'inondation urbaine, tandis que dans les régions côtières, l'élévation du niveau de la mer et plus de périodes d'élévation extrême des niveaux d'eau augmenteront le risque d'inondation côtière dans certaines collectivités (Bush et Lemmen, 2019). Ces changements auront des impacts plus importants sur les villes à l'avenir, à moins qu'une adaptation et une gestion appropriée des risques ne soient mises en œuvre (voir le tableau 2.1).

La gestion des risques liés aux changements climatiques est essentielle et peut apporter toute une gamme d'avantages directs et indirects sur le plan économique, individuel, social et environnemental. Les villes et les milieux urbains peuvent également s'adapter pour tirer parti des possibilités qu'apportera un climat en changement, comme la diminution de la demande de chauffage dans les bâtiments (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). La réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre (l'atténuation des changements climatiques) est essentielle pour gérer les risques futurs (Bush et Lemmen, 2019), bien qu'une discussion sur les efforts d'atténuation dépasse largement la portée de ce rapport, qui se concentre sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci.

La croissance démographique, l'urbanisation, la densification et la consommation accrue de ressources au cours des prochaines décennies vont amplifier la sensibilité des villes et des milieux urbains aux aléas climatiques (Webb et coll., 2018). Par exemple, la population de la région élargie du Golden Horseshoe, en Ontario, devrait augmenter de 50 % pour atteindre 13,5 millions de personnes d'ici 2041 (gouvernement de l'Ontario, 2017), et celle de la région métropolitaine de Vancouver devrait augmenter de 25 % pour atteindre 3,2 millions de personnes au cours de la même période (région métropolitaine de Vancouver, 2018; région métropolitaine de Vancouver, 2014). Cette croissance démographique entraînera une plus grande exposition aux impacts (car plus de personnes seraient touchées), ainsi qu'une plus grande demande de systèmes essentiels comme l'énergie, l'eau et les soins de santé. La composition de la population du Canada peut également avoir une incidence sur la vulnérabilité; par exemple, les nouveaux arrivants au Canada et les personnes âgées peuvent être plus vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes (Chang et coll., 2015).

Ce chapitre évalue les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci dans les villes et les milieux urbains de l'ensemble du Canada et reconnaît que chaque endroit subit les changements climatiques et s'y adapte différemment (Hunt et Watkiss, 2011). Ce chapitre fait référence à la documentation canadienne et internationale, et inclut des études de cas qui fournissent des exemples pratiques de mesures d'adaptation à l'œuvre. Le contenu a été structuré à l'aide de messages clés qui reflètent l'état actuel de la recherche et de la pratique sur les enjeux prioritaires pour les villes et les milieux urbains. Le volume dans lequel ce chapitre apparaît fait partie d'une série de produits complémentaires qui sont des contributions au processus national d'évaluation intitulé [Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir](#).

Encadré 2.1 : Zones urbaines

Bien que le terme « zone urbaine » soit souvent utilisé de manière interchangeable avec villes et milieux urbains, Statistique Canada a remplacé le terme « zone urbaine » par « centre de population » et utilise les catégories distinctes suivantes : **petits** (populations entre 1 000 et 29 999 habitants), **moyens** (populations entre 30 000 et 99 999 habitants) et **grands** (populations de 100 000 habitants ou plus) (Statistique Canada, 2017e). Comme dans les évaluations précédentes (p. ex. Palko et Lemmen, 2016), le présent chapitre se concentre principalement sur les moyens et grands centres de population, avec une certaine attention sur les petits centres de plus de 10 000 habitants. On estime que 500 des 3 650 villes et milieux urbains du Canada ont une population de plus de 10 000 habitants. Pour une discussion sur les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci dans les collectivités de moins de 10 000 habitants, veuillez consulter le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) ».

2.1.2 Impacts des changements climatiques dans les villes et les milieux urbains

Alors que la température moyenne mondiale continue d'augmenter, les villes et les milieux urbains dans l'ensemble du Canada connaîtront des températures plus élevées, des changements dans les régimes de précipitations (p. ex. moins de neige et plus de pluie, périodes de sécheresse prolongées), une augmentation de la fréquence et de l'intensité de certains phénomènes météorologiques extrêmes et, pour la plupart des villes côtières, une élévation du niveau de la mer (Bush et Lemmen, 2019). Dans tous les scénarios d'émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ces changements se traduiront par une incidence accrue des impacts biophysiques aigus et chroniques, notamment des phénomènes de chaleur plus fréquents et plus intenses (voir la figure 2.2), une augmentation des incidences de la mauvaise qualité de l'air (p. ex. en raison de l'ozone troposphérique, des particules), des précipitations de courte durée et de forte intensité, des tempêtes de vent, des incendies en milieu périurbain, une érosion côtière accrue, des inondations dues aux ondes de tempête et une diminution de la qualité de l'eau (Bush et Lemmen, 2019; Field, 2018; BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, 2017; gouvernement du Canada, 2016; Gasper et coll., 2011). Ces impacts biophysiques affecteront les infrastructures bâties, les environnements naturels, les personnes et les collectivités (voir le tableau 2.1). De tels impacts sont accentués dans les zones développées parce que les nombreuses surfaces naturelles qui les limitent ont été remplacées par des surfaces accentuant le ruissellement, l'absorption et la réémission de la chaleur, et que la densité de population est plus élevée (Venema et Temmer, 2017; Seto et Shepherd, 2009). Une grande partie des coûts élevés liés à ces impacts (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) ») seront portés par les administrations locales.

Tableau 2.1 : Impacts courants des changements climatiques auxquels sont confrontés les villes et les milieux urbains

CATÉGORIE	IMPACTS COURANTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES
Infrastructures et bâtiments	<ul style="list-style-type: none">• Dommages causés aux infrastructures et aux bâtiments par les tempêtes• Augmentation de la demande de refroidissement et diminution de la demande de chauffage dans les bâtiments• Augmentation potentielle des perturbations et des pannes des systèmes électriques dues à la chaleur et aux tempêtes• Augmentation des coûts d'entretien hivernal et risques accrus pour la sécurité publique• Dommages aux infrastructures en milieu côtier dus à l'élévation du niveau de la mer
Systèmes naturels	<ul style="list-style-type: none">• Changements dans la répartition des espèces végétales et animales, y compris les espèces bénéfiques et envahissantes• Dégradation des écosystèmes urbains et de ceux en périphérie• Augmentation de la pollution environnementale (p. ex. précipitations qui transportent des contaminants dans les cours d'eau)• Intrusion d'eau salée dans les aquifères d'approvisionnement en eau
Personnes et collectivités	<ul style="list-style-type: none">• Accroissement des inégalités sociales• Perturbations des activités économiques et commerciales• Impacts sur la santé mentale et physique• Perte de points de repères culturels, de patrimoine et de pratiques traditionnelles• Changements dans les possibilités de loisirs et de tourisme

Sources : Abbott et Chapman, 2018; Cedeño Laurent et coll., 2018; Field, 2018; Agence de la santé publique du Canada, 2017; Diamond Head Consulting Inc., 2017a; gouvernement du Canada, 2016; Giordano et coll., 2014; Revi et coll., 2014; Solecki et Marcotullio, 2013; Gasper et coll., 2011.

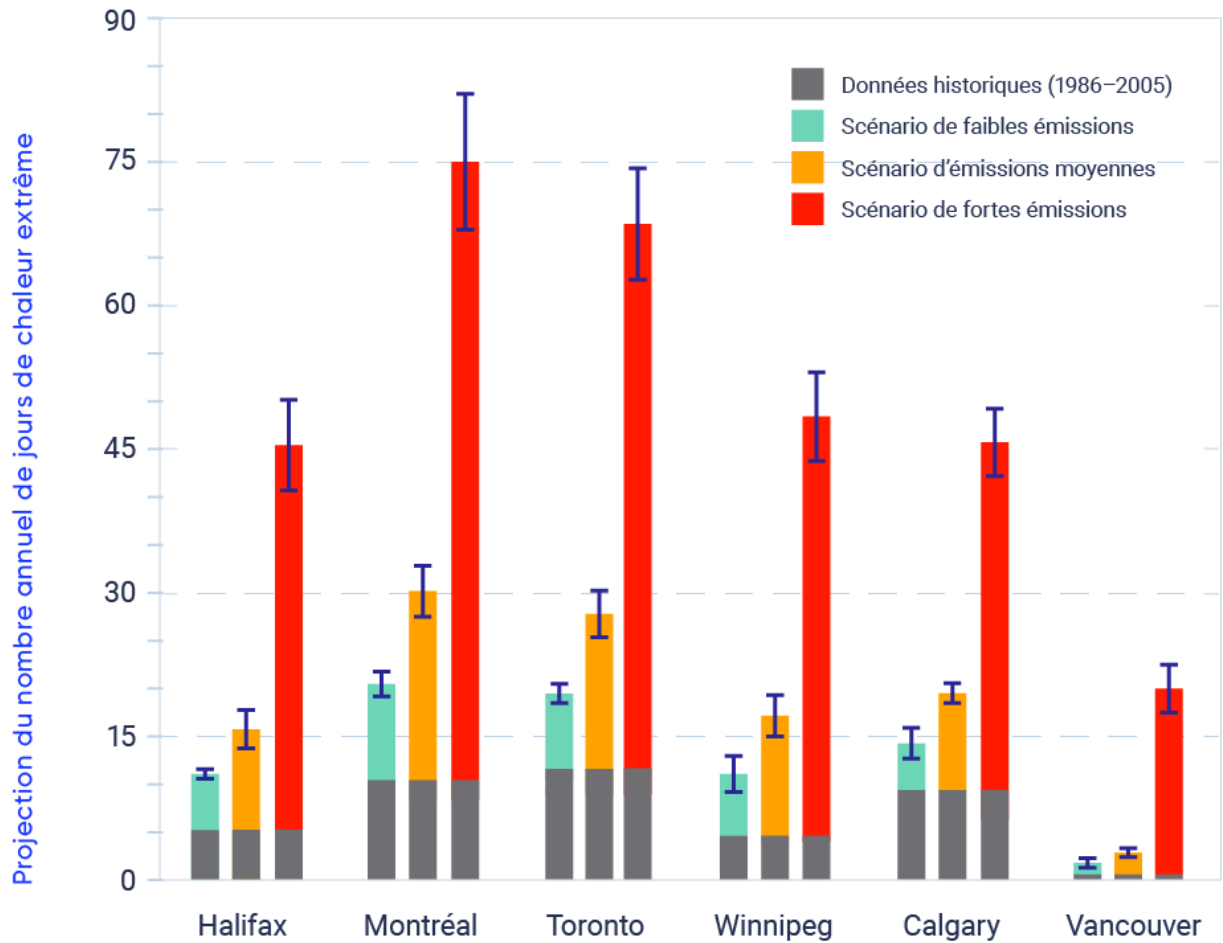


Figure 2.2 : Le nombre annuel de jours de chaleur extrême prévu pour six villes canadiennes suivant trois scénarios de réchauffement : une température moyenne à la surface du globe de 1,5 °C, 2 °C, et 4 °C au dessus des valeurs préindustrielles. Les valeurs sont basées sur des simulations statistiques à échelle réduite de 24 modèles climatiques utilisés pour le CMIP5, avec une section hachée représentant la différence entre les 75^e et 25^e percentiles, et la section grise indiquant le nombre de jours de chaleur extrême au cours de la période historique de référence (1986-2005). Le seuil de chaleur extrême diffère selon les villes (p. ex. Toronto = 31 °C, Vancouver = 29 °C). Source des données : Environnement et Changement climatique Canada.

2.2 Les changements climatiques menacent les infrastructures vieillissantes du Canada

Des infrastructures sûres et fiables et des bâtiments résilients sont essentiels à la vie dans les villes et les milieux urbains. Les changements prévus du climat augmenteront les risques pour les infrastructures vieillissantes du Canada, causant des dommages structuraux, compromettant la fiabilité du système et menaçant la santé et la sécurité. L'intégration des informations sur les changements climatiques dans la conception, l'exploitation et la gestion des projets d'infrastructure contribuera à réduire les risques au minimum.

Les expositions historiques et récentes à des conditions météorologiques extrêmes ont révélé que les infrastructures urbaines sont vulnérables à ces types de phénomènes. Les changements climatiques augmenteront le risque de surchauffe des bâtiments, d'infrastructures endommagées (p. ex. les ponts lors d'inondations) et de pannes de courant dans l'ensemble du Canada. Augmenter la résilience des infrastructures vieillissantes du Canada représente un défi en raison de facteurs tels que les niveaux d'utilisation plus élevés au-delà de la conception initiale, les investissements importants nécessaires et la performance dans des conditions climatiques futures incertaines. En outre, la conception des infrastructures à ce jour reflète l'hypothèse d'un climat stable, alors que nous devons désormais concevoir en fonction de la « non-stationnarité » du climat afin de réduire au minimum les perturbations et les dommages à mesure que le climat continue d'évoluer dynamiquement. Les infrastructures ont été déterminées comme étant le secteur le plus à risque face aux impacts climatiques, mais qui a également le plus grand « potentiel d'adaptation » pour éviter et réduire les conséquences négatives, à condition qu'une planification minutieuse soit entreprise (Conseil des académies canadiennes, 2019). L'état de la recherche et de la pratique au Canada progresse, tout comme les ressources dont disposent les villes et les milieux urbains.

2.2.1 Introduction

Les infrastructures dans les villes et les milieux urbains comprennent le réseau d'alimentation en eau (p. ex. les eaux pluviales, les eaux usées, l'eau potable), les systèmes de transport, les bâtiments publics et privés, les installations sportives et récréatives, les services publics (p. ex. l'électricité et le gaz), les télécommunications et les sites industriels (voir l'encadré 2.2 pour plus de détails). Près de deux tiers des infrastructures publiques de base sont détenus et entretenus par les administrations municipales, et plus d'un tiers a besoin d'être rénové ou remplacé parce qu'il est en relativement mauvais état (Comité directeur du projet, 2016). Les températures croissantes, les conditions hydrologiques changeantes et les phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents augmenteront le risque de défaillance et rendront plus difficile la prestation de niveaux de service optimaux pendant toute la durée de vie des infrastructures existantes et nouvelles (Asset Management BC, 2018; Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017).

Encadré 2.2 : Infrastructures

Le terme « infrastructures » peut signifier plusieurs choses différentes. Sécurité publique Canada fournit une liste de dix secteurs appelés infrastructures essentielles : la santé, l'alimentation, les finances, l'eau, les technologies de l'information et de la communication (TIC), la sécurité, l'énergie et les services publics, le secteur manufacturier, le gouvernement et les transports (de tous types – terrestres, aériens et maritimes) (Sécurité publique Canada, 2020). Ce chapitre met l'accent sur les actifs matériels qui sous-tendent le fonctionnement de ces secteurs et d'autres secteurs dans les villes et les milieux urbains, notamment les bâtiments. Une grande partie des infrastructures des centres de population est de propriété publique, comme les routes, les conduites d'eau principales et les bâtiments publics. D'autres infrastructures, comme la plupart des bâtiments, les TIC ainsi que les réseaux de distribution de gaz naturel et d'électricité, peuvent être détenues par le secteur privé (dans certains cas, selon la structure réglementaire). Les actifs d'infrastructure dépendent d'autres actifs et de services provenant d'autres infrastructures. Le terme « interdépendant » est utilisé pour décrire les cas où les actifs ou les systèmes sont dépendants les uns des autres.

2.2.2 Approches et mécanismes destinés à réduire les risques

Le Climate-Safe Infrastructure Working Group, un groupe de scientifiques, d'ingénieurs et d'architectes californiens, définit les infrastructures résilientes à diverses conditions climatiques comme « des infrastructures qui sont durables, adaptatives et qui répondent à des critères de conception visant à la résilience face aux chocs et aux contraintes causés par le climat actuel et futur » (Climate-Safe Infrastructure Working Group, 2018, p. 5). Bien que cet objectif soit conceptuellement simple, sa réalisation pose de nombreux défis (p. ex. Climate-Safe Infrastructure Working Group, 2018; Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). Alors que le domaine de l'adaptation aux changements climatiques mûrit, des approches émergent pour aider les concepteurs et les exploitants d'infrastructures à modifier leurs méthodes de planification et de conception. Le Groupe de travail sur les infrastructures et les bâtiments – un groupe de travail multilatéral relevant de la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques – désigne les secteurs clés qui doivent être abordés, dont plusieurs sont présentés ci-dessous :

- L'élaboration de lignes directrices, de codes, de normes et de spécifications qui prennent en considération les impacts prévus des changements climatiques;
- L'élaboration d'inventaires sur les infrastructures essentielles, y compris l'évaluation des vulnérabilités et le relevé des zones à risque prioritaires, basé sur l'impact prévu des changements climatiques;
- Le relevé des zones à haut risque basé sur des événements récents (p. ex. nouvelle cartographie des zones inondables);

- La réalisation d'évaluations des risques et des analyses coûts-avantages des solutions de rechange pour appuyer la prise de décisions sur les mesures d'adaptation prioritaires;
- L'intégration de la planification et de la prise de décision entre les services au sein d'une organisation ou entre les intervenants (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017).

Bien qu'il soit difficile de suivre avec précision les progrès réalisés dans chacun de ces secteurs, il y a des preuves d'avancées. Par exemple, la gestion des actifs est une pratique relativement répandue qui vise à inventorier et à gérer les infrastructures existantes et nouvelles entre les corporations municipales, de façon à maximiser les avantages et à réduire les risques, tout en reflétant le contexte et les priorités de la collectivité (Fédération canadienne des municipalités, 2018). Au cours des dernières années, la communauté des gestionnaires d'actifs a été encouragée à intégrer les changements climatiques dans ses pratiques (Asset Management BC, 2018). Bien que la prise en compte des changements climatiques ne soit pas encore bien établie, elle consiste à considérer comment une série d'impacts climatiques potentiels peuvent affecter les niveaux de service, et d'incorporer ces considérations dans les activités de gestion des actifs (voir l'étude de cas 2.1; Fédération canadienne des municipalités, 2018). Ce processus peut également être utilisé pour gérer les actifs naturels (p. ex. les terres humides), bien que cette pratique soit encore très récente (Municipal Natural Assets Initiative, 2017). Incorporer les changements climatiques à la gestion des actifs représente une occasion importante d'accélérer l'adaptation par l'intégration, et de promouvoir des options à faibles émissions de carbone lors du renouvellement des infrastructures (Adaptation to Climate Change Team, 2019).

Les codes, les normes et les lignes directrices, qui sont principalement élaborés par différents ordres de gouvernement, sont des catalyseurs essentiels pour des infrastructures résistantes aux changements climatiques (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). Par exemple, au Québec, le guide normatif BNQ 3019-190 fournit des informations, des lignes directrices et des recommandations pour améliorer la performance thermique des aires de stationnement (p. ex. réduction de la surface, augmentation des espaces verts, chaussée perméable) dans le but de réduire l'effet d'îlot de chaleur (Bureau de normalisation du Québec, 2013). L'arrondissement de Rosemont-La Petite-Patrie, à Montréal, au Québec, a utilisé cette norme pour exiger que « le pavage de tous les nouveaux stationnements et endroits de chargement et de stockage [aient] un indice de réflectance solaire d'au moins 29 » (gouvernement du Canada, 2011, p. 2). Le Conseil canadien des normes (2019) fait également progresser les travaux dans ce domaine, notamment grâce à une nouvelle ligne directrice nationale sur la protection contre les inondations des sous-sols (Association canadienne de normalisation, 2018) et le soutien à une norme canadienne pour les collectivités résilientes aux inondations (Moudrak et Feltmate, 2019). Des informations supplémentaires sur les bâtiments sont fournies dans l'encadré 2.3.

2.2.3 Outils d'aide à la décision

Malgré des exemples prometteurs, concevoir en fonction d'un climat de plus en plus changeant reste un défi avec des solutions évolutives. Les concepteurs sont encouragés à faire preuve de souplesse pour tenir compte de l'incertitude (Field, 2018; Milly et coll., 2008), et à utiliser des approches à l'épreuve des échecs pour réduire au minimum les conséquences plutôt que la probabilité de défaillance (Climate-Safe

Infrastructure Working Group, 2018). Traditionnellement, les paramètres et les seuils des infrastructures s'appuient sur des données météorologiques historiques (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). Étant donné la longue durée de vie de la plupart des infrastructures, des projections climatiques seront nécessaires pour établir les paramètres et les seuils pour les infrastructures. Les courbes intensité-durée-fréquence (IDF) mettent en relation l'intensité des précipitations avec leur durée et leur fréquence d'occurrence, et sont souvent utilisées pour éclairer les décisions relatives aux infrastructures. Des outils tels que l'IDF CC Tool 4.0 (Simonovic et coll., 2018) peuvent être utilisés pour développer des courbes intensité-durée-fréquence basées sur des données historiques, ainsi que dans des conditions climatiques futures, aidant alors à incorporer des considérations climatiques dans les décisions relatives aux infrastructures. Par exemple, les courbes IDF ont été utilisées dans une étude des bassins de rétention résidentiels de Saskatoon dans le cadre de scénarios climatiques futurs (Elshorbagy et coll., 2018).

L'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada représente un effort pour intégrer la prise en compte des risques climatiques dans la pratique professionnelle. Elle exige une analyse de la résilience aux changements climatiques pendant les phases de planification et de conception d'un projet comme condition préalable au financement de projets de plus de 10 millions de dollars, et exige de prendre en compte la manière dont les émissions de tous les projets seront gérées et réduites au minimum (Infrastructure Canada, 2019). Le guide contient un ensemble de ressources complémentaires, notamment des ressources climatiques régionales, des ensembles de données d'ingénierie (p. ex. des fichiers intensité-durée-fréquence), des cartes des zones inondables provinciales et territoriales, des méthodologies d'évaluation des risques, des rapports d'évaluation fédéraux antérieurs et des ressources d'adaptation (Infrastructure Canada, 2019).

Les associations professionnelles de l'ensemble du Canada offrent de plus en plus de formations volontaires à leurs membres sur la planification et la gestion d'infrastructures adaptées aux changements climatiques. Par exemple, Engineers and Geoscientists British Columbia dispose d'un vaste portail d'information sur les changements climatiques qui vise à appuyer ses membres à mesure qu'ils incorporent la gestion des risques climatiques dans leurs pratiques (Engineers and Geoscientists British Columbia, 2020). De même, l'Association des architectes paysagistes du Canada a produit une série d'abécédaires de l'adaptation pour guider la pratique de ses membres (Association des architectes paysagistes du Canada, 2018), et l'Institut canadien des urbanistes dispose d'un portail sur les changements climatiques avec des ressources pour éclairer la planification et la conception de l'adaptation aux changements climatiques, en plus d'une nouvelle politique de planification des changements climatiques qui guide la pratique professionnelle (Institut canadien des urbanistes, 2018).

En plus de ces outils d'aide à la décision, il existe un nombre croissant d'exemples et de stratégies de conception dans les domaines suivants : la conception des égouts pluviaux et sanitaires (Moudrak et Feltmate, 2017; Crowe, 2014), les infrastructures de transport (Temmer et Venema, 2018; Simonovic et coll., 2016; Dennis Consultants, 2008), la distribution d'énergie (Gomez et Anjos, 2017; AECOM et Risk Sciences International, 2015; Boggess et coll., 2014), les réseaux d'alimentation en eau (United States Environmental Protection Agency, 2014; Loftus, 2011) et les technologies de l'information et des communications (Kwasinski, 2016).

2.2.4 Financement

Bien qu'il existe de nombreux obstacles liés au financement d'infrastructures adaptées aux changements climatiques dans les villes et les milieux urbains du Canada (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017), les propriétaires et exploitants d'infrastructures ont actuellement accès à des pistes d'avenir novatrices. On retrouve parmi celles-ci des outils à caractère incitatif tels que les taxes d'améliorations locales, les accords de densité pour avantages, les droits d'aménagement et les exemptions de taxes sur les espaces naturels (Zerbe, 2019; Adaptation to Climate Change Team, 2015). Des options de financement ont également été évaluées pour les initiatives relatives aux actifs naturels (Cairns et coll., 2019), et les municipalités ont reçu du financement pour l'adaptation par l'intermédiaire de programmes financés par le gouvernement fédéral, tels que le Programme Municipalités pour l'innovation climatique (mis en œuvre par la Fédération canadienne des municipalités) et le Programme national d'atténuation des catastrophes (mis en œuvre par Sécurité publique Canada). Toutefois, la plupart de ces possibilités de financement sont limitées dans le temps, et le montant du financement disponible est généralement insuffisant par rapport à l'ampleur des mesures d'adaptation nécessaires. Comme les sources de financement public ne représentent qu'un quart des dépenses en capital au Canada, il sera également essentiel de mobiliser les investissements privés provenant des entreprises, des propriétaires et des partenariats public-privé afin de parvenir à une adaptation adéquate des infrastructures (Adaptation to Climate Change Team, 2015).

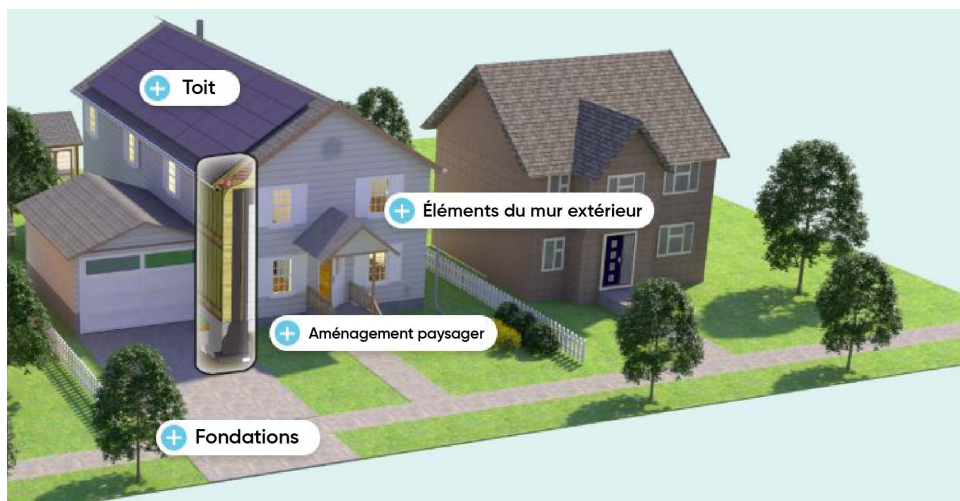
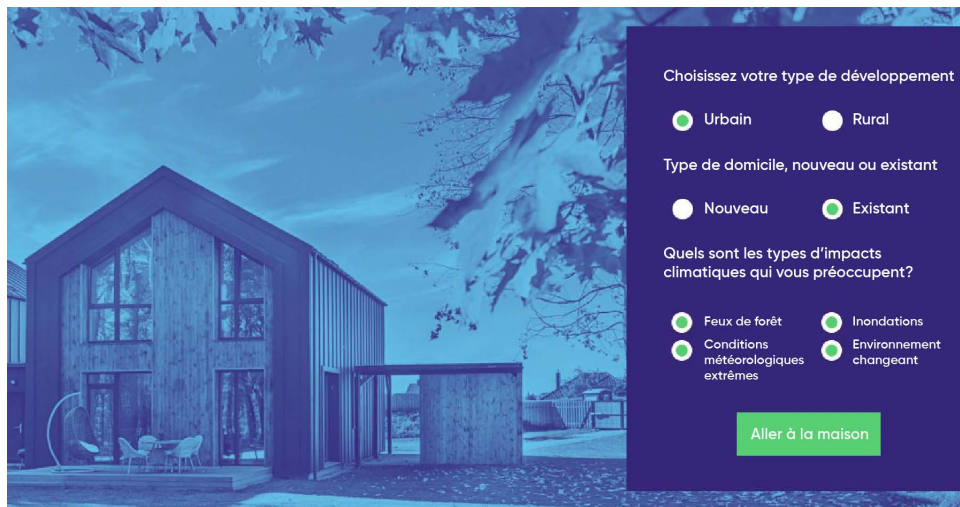
Encadré 2.3 : Bâtiments

Au cours des cinq dernières années, des efforts accrus ont été déployés pour concevoir les bâtiments en fonction de leur résilience climatique (p. ex. BC Housing, 2019). Pour chaque type de bâtiment, un certain nombre d'options d'adaptation structurale et opérationnelle sont proposées en fonction du danger encouru (voir la figure 2.3). Celles-ci comprennent des directives générales pour les concepteurs et les exploitants (p. ex. BOMA Canada, 2019; Kesik et O'Brien, 2017; Ville de Toronto, 2016) et aussi des systèmes de certification comme BOMA BEST 3.0 (BOMA Canada, 2020) pour les bâtiments existants, et des crédits pilotes du système d'évaluation du projet RELi pour les bâtiments neufs (Pierce, 2017). Il existe également un certain nombre de projets pilotes. Par exemple, la Ville de Windsor, en Ontario, a rénové une maison de 100 ans au cœur de la ville pour y réduire le risque d'inondation grâce à diverses mesures de protection installées dans la propriété, notamment un clapet anti-refoulement, une pompe d'assèchement avec débordement et du nivellement à l'extérieur (Ville de Windsor, 2019).

L'amélioration de la résilience aux changements climatiques grâce aux codes du bâtiment est une autre approche utilisée dans les villes et les milieux urbains. De nombreuses autorités régionales au Canada ont adopté des mesures visant à réduire les risques de catastrophes par le biais de la conception des bâtiments, malgré leur pouvoir limité de réglementer la construction au-delà des exigences des codes provinciaux (Ville de Barrie, 2017; Ville de Wasaga Beach, 2015; Ville de Cambridge, 2011). Par exemple, la plupart des municipalités de l'Alberta et des grandes villes de l'Ontario, comme Toronto, Ottawa, Windsor, Mississauga et Hamilton, ont adopté des interprétations du code du bâtiment qui ont abouti à l'installation de dispositifs anti-

refoulement dans la plupart des maisons neuves afin de réduire les risques refoulement d'égout (Sandink, 2013a). Dans la ville de Victoriaville, au Québec, le programme volontaire de logement durable à caractère incitatif Habitation Durable comprend des mesures de réduction des risques de catastrophes, comme des jonctions mur-toit améliorées pour réduire les risques liés au vent et des mesures pour réduire les risques de santé liés à la chaleur. Sept municipalités supplémentaires de la province de Québec ont adopté Habitation Durable (Ville de Victoriaville, 2018). Halifax impose une surélévation du rez-de-chaussée pour tous les bâtiments résidentiels neufs le long de son littoral afin de s'ajuster à l'élévation du niveau de la mer, sur la base de prévisions et de modélisations allant jusqu'en 2100 (Municipalité régionale d'Halifax, 2014).

Pour de nombreuses mesures d'adaptation à l'échelle des bâtiments, il existe des avantages connexes associés. Par exemple, la conception de bâtiments solaires passifs peut contribuer à maintenir le confort, y compris pendant les pannes de courant, tout en réduisant les charges de chauffage et de refroidissement (p. ex. grâce à un ombrage optimisé). Il en va de même pour les feuillages et les toits verts qui réduisent la température urbaine, tout en retenant les eaux de ruissellement et en diminuant la demande de refroidissement. Ces mesures et d'autres mesures de résilience à l'échelle des bâtiments offrent également des avantages connexes liés à l'habitabilité et à la valeur des propriétés (Urban Land Institute, 2015).



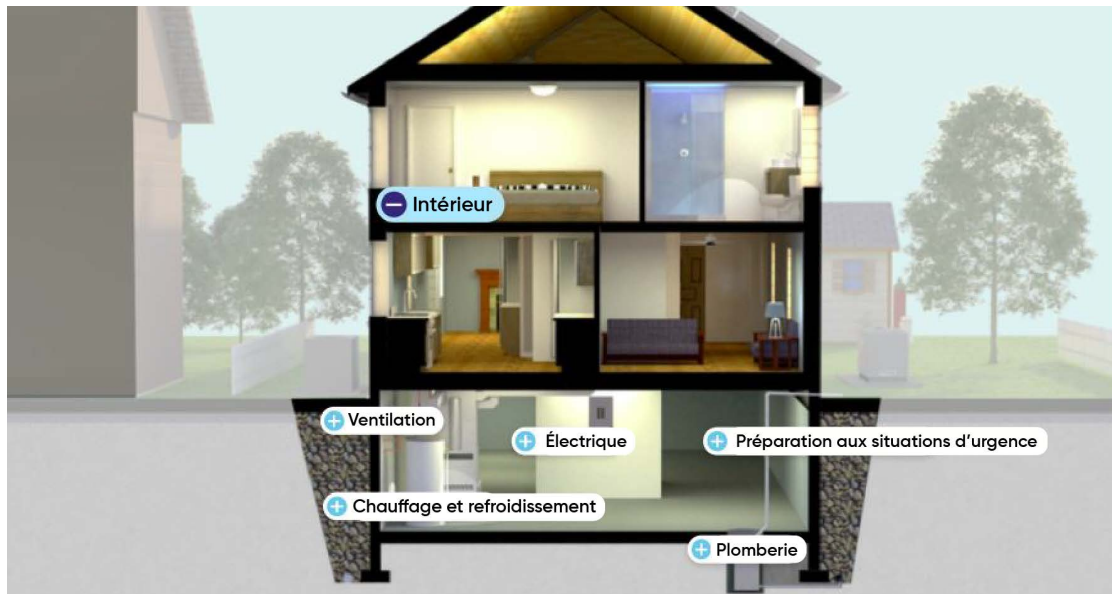


Figure 2.3 : Une série de captures d'écran provenant du site Web www.climate resilient home.ca, développé par la Ville d'Edmonton et Ask for a Better World. Cet outil interactif offre des informations sur les modifications à apporter pour rendre les maisons neuves et existantes plus résilientes aux changements climatiques.

2.2.5 Interdépendances

La création d'infrastructures adaptées aux changements climatiques exige une compréhension opérationnelle de la nature interconnectée et interdépendante des infrastructures urbaines, où l'interdépendance fait référence à une relation entre deux ou plusieurs systèmes d'infrastructure (p. ex. la distribution d'électricité et le traitement des eaux) (voir la figure 2.4; Zimmerman et Faris, 2010). Les interdépendances peuvent être de nature physique, informatique, géographique ou opérationnelle (C40 Cities et AECOM, 2017) et peuvent entraîner des répercussions en cascade sur les systèmes d'infrastructure qui touchent de multiples propriétaires (Asset Management BC, 2018). Déterminer les interdépendances est de plus en plus considéré comme une première étape dans la réduction du risque climatique (C40 Cities et AECOM, 2017). Des projets pilotes liés à des actifs spécifiques, dont l'hôpital général de Nanaimo, en Colombie-Britannique, sont en train d'être mis en œuvre pour explorer comment les interdépendances se traduisent sous forme de risques climatiques (Cross Dependency Initiative, 2019).

Les discussions sur les interdépendances et les impacts en cascade soulignent souvent que l'électricité se trouve au centre de la vie urbaine. Comme le montre la figure 2.4, lorsque l'approvisionnement en électricité est perturbé, de nombreux impacts négatifs touchent d'autres systèmes d'infrastructure – ainsi que des systèmes naturels et sociaux (C40 Cities et AECOM, 2017). Par exemple, les immeubles de grande hauteur peuvent subir des perturbations dans les services essentiels comme l'approvisionnement en eau et le service

d'ascenseur, et peuvent perdre leur capacité à maintenir des conditions thermiques sécuritaires pendant les pannes de courant (Kesik et coll., 2019). Les bâtiments ont tendance à être fortement interdépendants, en ce sens qu'ils dépendent de la plupart des autres types d'infrastructure et sont conçus avec une capacité minimale à fonctionner sans ces éléments d'infrastructure. Dans l'ensemble du Canada, les services publics s'efforcent de gérer les risques qui pèsent sur leurs réseaux de distribution (p. ex. BC Hydro, 2019; Association canadienne de l'électricité, 2019).

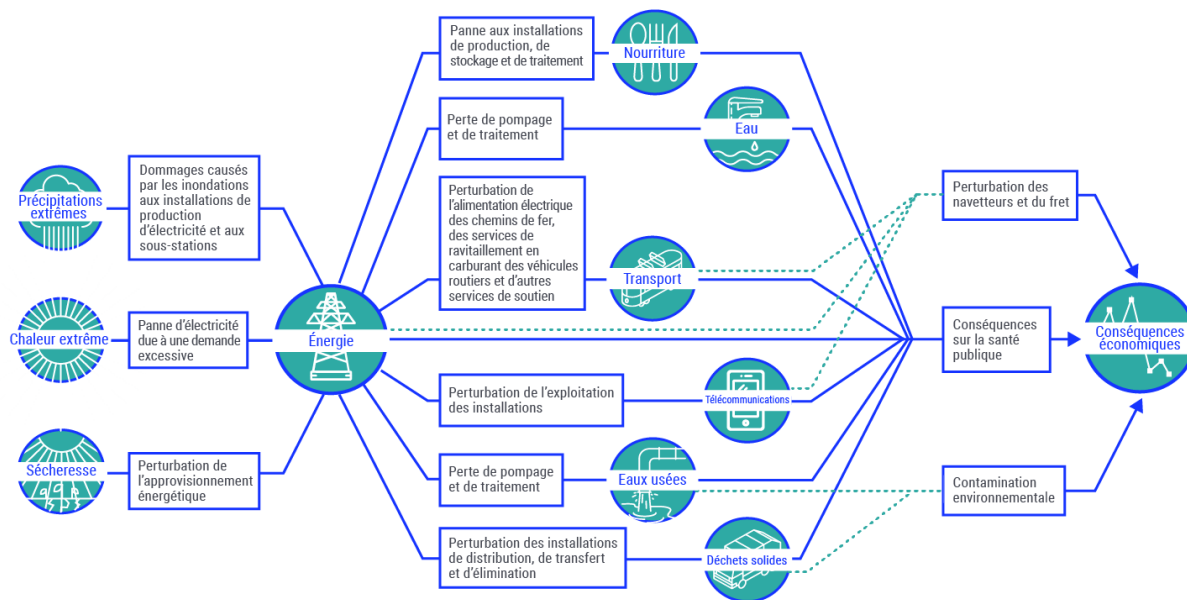


Figure 2.4 : Représentation graphique d'un exemple d'interdépendances entre des systèmes d'infrastructure.
Source : Adapté de C40 Cities et AECOM, 2017.

Étude de cas 2.1 : Améliorer la résilience des infrastructures à Fredericton (Nouveau-Brunswick) pour réduire les risques d'inondation

Située sur la rivière Saint-Jean, la ville de Fredericton est la capitale du Nouveau-Brunswick et compte près de 60 000 habitants. Dans cette ville, les inondations printanières de la rivière Saint-Jean constituent le risque climatique principal – un danger si important qu'une œuvre d'art publique a été commandée pour contextualiser la hauteur des eaux d'inondation (voir la figure 2.5).

Fredericton a connu deux inondations printanières consécutives, en 2018 et en 2019, qui ont toutes deux duré plus d'une semaine. Lors de chaque inondation, une partie importante du réseau de transport artériel a été perturbé et les navetteurs peinaient à traverser d'un côté à l'autre de la rivière pour se rendre au travail, à l'hôpital ou à d'autres activités souvent considérées comme allant de soi. Pendant cette période, la Ville a

encouragé l'utilisation du transport actif, du transport en commun gratuit, des stationnements incitatifs et du télétravail pour assurer la continuité des activités, ainsi que la modification du flux de circulation sur le pont principal pour permettre un meilleur accès vers et depuis le centre-ville. La continuité des activités est l'une des façons dont le personnel de la Ville a encadré les efforts d'adaptation, en acceptant le fait qu'il n'est pas possible d'éliminer les risques d'inondation.

Les risques d'inondation persistants ont donné lieu à plus de deux décennies d'efforts visant à assurer une meilleure résilience des infrastructures de la ville. Pour guider ce travail, la Ville de Fredericton s'est appuyée sur un engagement envers la planification de la gestion des actifs et une vision à long terme. Cela a entraîné des changements, tels que l'installation de ponceaux surdimensionnés dont la taille dépasse de 20 % le temps de retour de 1:100, l'utilisation de moyens de transport actifs (p. ex. le cyclisme) et des pistes de corridors ferroviaires qui ont été utilisées comme sites pour les conduites d'eau afin d'accroître la redondance et aussi pour servir de voies de transport de remplacement lorsque les inondations perturbent la circulation des véhicules. La Ville a compté sur divers mécanismes de financement pour mener à bien ce travail et recevra le soutien du Programme national d'atténuation des catastrophes pour rendre Fredericton encore plus résiliente.

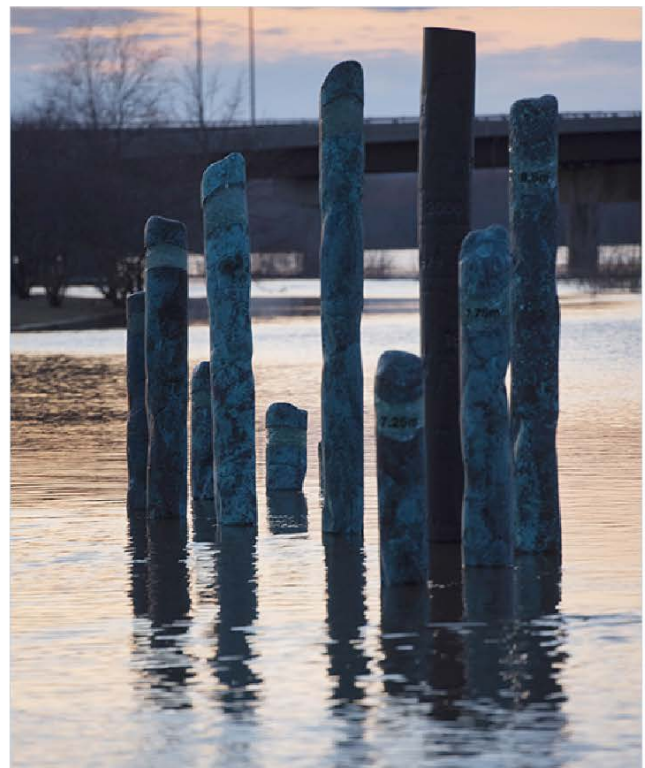


Figure 2.5 : L'installation d'art public « *Watermark* » de Gerald Beaulieu, composée d'une série de 11 poteaux en bois de différentes hauteurs le long d'un chemin de promenade au bord de la rivière à Fredericton (Nouveau-Brunswick). Le plus haut poteau – le « poteau de la mémoire » – est encastré dans des feuilles de cuivre qui marquent l'année et le niveau d'eau le plus élevé de la rivière Saint-Jean pendant la crue annuelle. Ce projet est un très bon exemple de collaboration entre les Travaux publics municipaux et le Bureau de la culture. Les photos sont une gracieuseté de la Ville de Fredericton..

2.3 L'amélioration des espaces verts aide les villes et les milieux urbains à s'adapter aux changements climatiques

Les infrastructures vertes, telles que les parcs, les terres humides et les toits verts, dans les villes et les milieux urbains du Canada, augmentent la qualité de vie des résidents et améliorent la résilience aux changements climatiques. Reconnaître la valeur des avantages associés aux infrastructures vertes et aux solutions d'adaptation basées sur la nature sera utile pour faire progresser leur utilisation afin de réduire les impacts des changements climatiques et d'autres facteurs de stress.

L'environnement naturel influence la qualité de vie dans les villes et les milieux urbains du Canada et contribue à la sécurité alimentaire et de l'approvisionnement en eau, tout en offrant des avantages importants en termes de qualité de l'air, de filtration de l'eau et de biodiversité. La capacité des infrastructures vertes à accroître la résilience aux changements climatiques est bien comprise. Les infrastructures vertes commencent à être utilisées plus largement dans les villes et les milieux urbains du Canada, tout comme les approches novatrices en matière de conception et de gouvernance relatives à l'environnement naturel. À mesure que le climat évolue, la protection et l'amélioration des infrastructures vertes (voir la figure 2.6) contribueront à leur résilience et à leur aptitude à continuer de fournir des services écosystémiques et des avantages connexes. Cela requiert une intégration comportant des processus de planification complémentaires (p. ex. les décisions concernant les infrastructures bâties), ainsi que la prise en compte d'autres facteurs liés à l'aménagement et au développement du territoire.

2.3.1 Introduction

Les villes et les milieux urbains intègrent des systèmes naturels qui comprennent des voies navigables, des littoraux, des terres humides, des forêts urbaines, des parcs et des écosystèmes résiduels, ainsi que des actifs bâtis comme les toits verts, les saillies drainantes végétalisées et les jardins de pluie (voir la figure 2.6). Ces actifs naturels et aménagés fournissent des biens et services précieux qui peuvent accroître la capacité d'adaptation (voir le chapitre « [Services écosystémiques](#) »; Frantzeskaki et coll., 2019; Adaptation to Climate Change Team, 2017; Kabisch et coll., 2017; Terton, 2017) et sont souvent souples, rentables et largement applicables à la réduction des impacts des changements climatiques (Emilsson et Sang, 2017). Les infrastructures vertes peuvent réduire les impacts liés à la chaleur extrême, à la sécheresse, aux inondations et à l'élévation du niveau de la mer, tout en offrant de multiples avantages connexes (voir le tableau 2.2). Par exemple, les effets que les infrastructures vertes peuvent avoir sur la chaleur et la pollution atmosphérique au niveau du site, du voisinage et de la ville sont de mieux en mieux compris (Zupancic et coll., 2015). Toutefois, la capacité à fournir ces avantages est menacée par la croissance et le développement urbains rapides, les pratiques destructrices d'utilisation des terres et de l'eau, ainsi que les changements de température et de précipitations et les phénomènes extrêmes associés aux changements climatiques (Conservation de la nature, 2018; Emilsson et Sang, 2017; Terton, 2017).

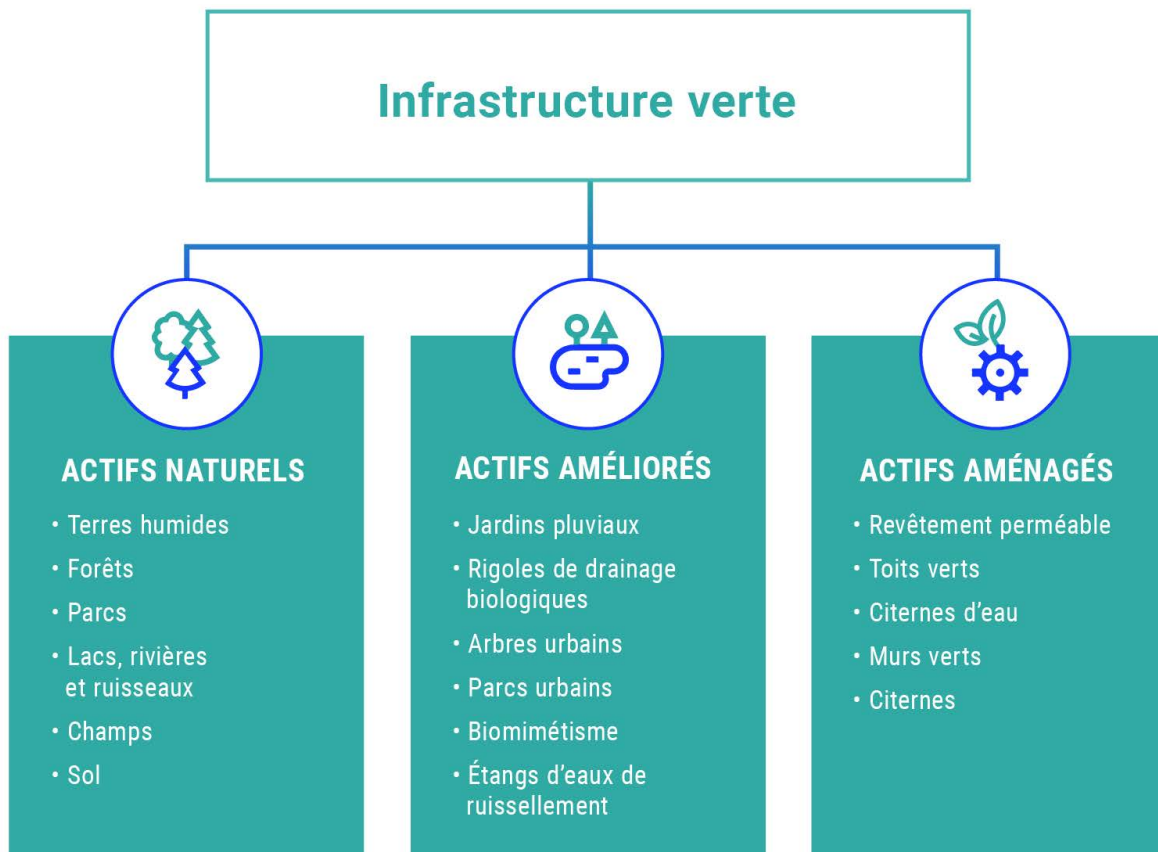


Figure 2.6 : Définition des infrastructures vertes. Source : Adapté de Brooke et coll., 2017.

Un nombre croissant d'orientations sont offertes à ceux qui souhaitent utiliser les infrastructures vertes à des fins d'adaptation (voir l'étude de cas 2.2; Terton, 2017). Il existe également des outils d'évaluation de la vulnérabilité et des risques. Par exemple, le protocole CVIIP (Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques) a été appliqué à trois parcs de Mississauga pour évaluer leur vulnérabilité à douze paramètres climatiques (p. ex. les inondations, les cycles de gel-dégel, la sécheresse et la qualité de l'air). On a relevé un certain nombre de risques qui pourraient être gérés par la construction, l'exploitation et la gestion, et/ou des recherches supplémentaires (Risk Sciences International, 2018).

Tableau 2.2 : Avantages connexes des infrastructures vertes

CATÉGORIE	AVANTAGES CONNEXES
Environnementaux	<ul style="list-style-type: none">• Amélioration de la qualité de l'air• Amélioration de la disponibilité et de la qualité des ressources en eau• Habitat élargi et meilleure connectivité pour la biodiversité• Réduction des températures urbaines• Prévention de l'érosion• Séquestration du carbone et réduction des émissions
Sociaux	<ul style="list-style-type: none">• Possibilités d'activités récréatives et physiques• Amélioration de la santé mentale• Cohésion sociale accrue (p. ex. parcs, jardins communautaires, plages)• Potentiel pour l'agriculture urbaine et la sécurité alimentaire locale• Réduction de la mortalité• Possibilités pédagogiques• Valeur spirituelle et sentiment d'appartenance aux lieux
Économiques	<ul style="list-style-type: none">• Rapport coût-efficacité par rapport à l'infrastructure grise• Protection contre les inondations• Réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments• Réduction de l'énergie requise pour les pompes, etc.• Dépollution• Amélioration de la capacité des transformateurs de puissance et de l'efficacité de la transmission électrique• Augmentation de la valeur des propriétés et des recettes de l'impôt foncier

Sources : Arsenijevich, 2018; GERARCC, 2018; Kabisch et coll., 2017; Terton, 2017; Berry, 2016; McDonald et coll., 2016; Sörensen et coll., 2016; AECOM et Risk Sciences International, 2015; Kardan et coll., 2015; Alexander et McDonald, 2014; ARUP, 2014; Beatley et Newman, 2013; Summers et coll., 2012; Foster et coll., 2011.

2.3.2 Aménagement à faible impact

L'aménagement à faible impact écologique (LID) vise à ramener l'hydrologie d'un site aussi près que possible à ses conditions d'avant l'aménagement (Ahiablame et coll., 2013) et est largement reconnu comme une stratégie importante pour la gestion des eaux de ruissellement dans les zones urbaines (Berry, 2016; Dagenais et coll., 2014). Des exemples d'aménagement à faible impact comprennent les toits verts, les revêtements perméables, les jardins de pluie, les saillies drainantes végétalisées, les jardinières à infiltration, les rigoles végétalisées, les jardinières à écoulement, les puits secs et les bassins de rétention. Ces actifs naturels retiennent et filtrent une partie des eaux de ruissellement, aident à recharger les approvisionnements en eau, évitent les mises à niveau coûteuses des infrastructures matérielles, fournissent des habitats et des possibilités de loisirs, et sont considérés comme des éléments vitaux des systèmes d'infrastructures municipales (voir la figure 2.7; Kabisch et coll., 2017). Par exemple, à Puget Sound, dans l'État de Washington, il existe une initiative visant à installer 12 000 jardins de pluie, ce qui permettrait d'éviter que 160 millions de gallons d'eau ne pénètrent dans le réseau d'eaux de ruissellement (Stewardship Partners et Washington State University Extension, 2019). Un projet similaire est en cours de planification à North Vancouver (Pacific Water Research Centre, 2020). La Ville de Niagara Falls propose désormais un programme de remise qui couvrira 50 % du coût d'une citerne d'eau de pluie pour ses résidents (Ville de Niagara Falls, 2019).

Les approches de réglementation ont également été efficaces pour augmenter l'aménagement à faible impact. Par exemple, le règlement administratif de Toronto sur les toits verts exige que les constructions dont la surface du toit est supérieure à 2000 mètres carrés soient dotées de toits verts. La Ville estime que ces initiatives de toits verts ont permis d'éliminer plus de 9 millions de litres d'eaux de ruissellement de leur réseau d'évacuation des eaux usées et d'empêcher l'émission de 120 tonnes de gaz à effet de serre en réduisant la consommation annuelle d'énergie de 1 000 mégawattheures (Guilbault et coll., 2016). L'aménagement à faible impact a été adopté de manière variable, mais généralement de façon favorable dans l'ensemble du Canada (Ishaq et coll., 2019). Les préoccupations actuelles concernant l'aménagement à faible impact comprennent les besoins opérationnels et d'entretien tout au long du cycle de vie, y compris les considérations relatives aux processus et aux coûts d'entretien, ainsi que l'impact des pluies verglaçantes et des phénomènes de pluie hivernale sur l'efficacité et la survie des toitures-jardins.



Figure 2.7 : Des photos des conditions existantes à l'embouchure souvent inondée de la rivière Don à Toronto (Ontario) et un rendu d'une conception visant à mieux prendre en compte les eaux de crue tout en améliorant les aménagements publics. Source : Waterfront Toronto, 2020.

2.3.3 Biodiversité urbaine

La protection de la biodiversité urbaine (c'est-à-dire la variété de la vie dans le contexte urbain) est une priorité pour de nombreuses villes canadiennes. Il existe des outils pour soutenir les villes et les milieux urbains dans la planification de la biodiversité urbaine (p. ex. ICLEI Canada, 2014) et la création de stratégies de biodiversité urbaine (p. ex. Ville de Vancouver, 2016); ces outils peuvent aider à aborder des problèmes comme l'arrivée d'espèces envahissantes, ce qui est de plus en plus susceptible de se produire dans un climat en changement (Smith et coll., 2012). Des efforts pour préserver les espaces verts et la biodiversité à l'extérieur d'une ville peuvent compléter les initiatives qui se déroulent à l'intérieur des limites municipales (p. ex. Parcs Canada, 2014). Cependant, la coordination de la planification transfrontalière et intersectorielle pour la connectivité des écosystèmes devient de plus en plus urgente face à la perte d'habitats et aux changements climatiques. Un certain degré de connectivité est important pour la santé et la survie de presque toutes les espèces, et les approches locales et régionales en matière d'infrastructures vertes sont susceptibles de fournir des avantages à plus grande échelle pour la réduction des inondations et de la chaleur (Satzewich et Straker, 2019).

2.3.4 Forêts urbaines

Les forêts urbaines sont utiles pour retenir les eaux de ruissellement, améliorer la qualité de l'air et réduire la température urbaine (voir la figure 2.8). Pour préserver ces avantages, il est essentiel que les municipalités gèrent les forêts urbaines de manière à garantir leur adaptabilité aux changements climatiques (Diamond Head Consulting Inc., 2017b; Brandt et coll., 2017; McDonald et coll., 2016). Par exemple, la Ville de Kitchener prépare sa forêt urbaine à davantage de tempêtes de verglas hivernales (Ville de Kitchener, 2019). Pour de nombreuses villes, la chaleur croissante et la sécheresse signifient qu'elles doivent planifier activement l'introduction d'espèces d'arbres qui non seulement réduiront les divers risques climatiques, mais seront également elles-mêmes résilientes aux conditions climatiques en changement (Brandt et coll., 2016). Les villes et les milieux urbains de l'ensemble du Canada reconnaissent cette dimension du risque climatique et approfondissent leur compréhension de la vulnérabilité climatique des arbres (p. ex. Ville de Montréal, 2017). Les villes et les milieux urbains priorisent également la santé de leurs forêts urbaines. Par exemple, la forêt urbaine de Kingston (Ontario) fournit annuellement 1,87 million de dollars en avantages environnementaux, et est activement gérée par le plan d'aménagement de la forêt urbaine et la stratégie de protection contre la sécheresse de la ville (Guilbault et coll., 2016). Dans certains quartiers, particulièrement dans les villes denses comme Montréal et Toronto, le coût de la plantation d'arbres pour la réduction des particules (PM) est aussi bas que 840 \$ US/tonne, et concurrence les stratégies couramment utilisées pour réduire les PM (p. ex. le contrôle des sources ponctuelles) (McDonald et coll., 2016). Similairement, l'ombre fournie par les arbres réduit la température dans la région, ce qui entraîne une réduction des coûts de refroidissement (McDonald et coll., 2016).

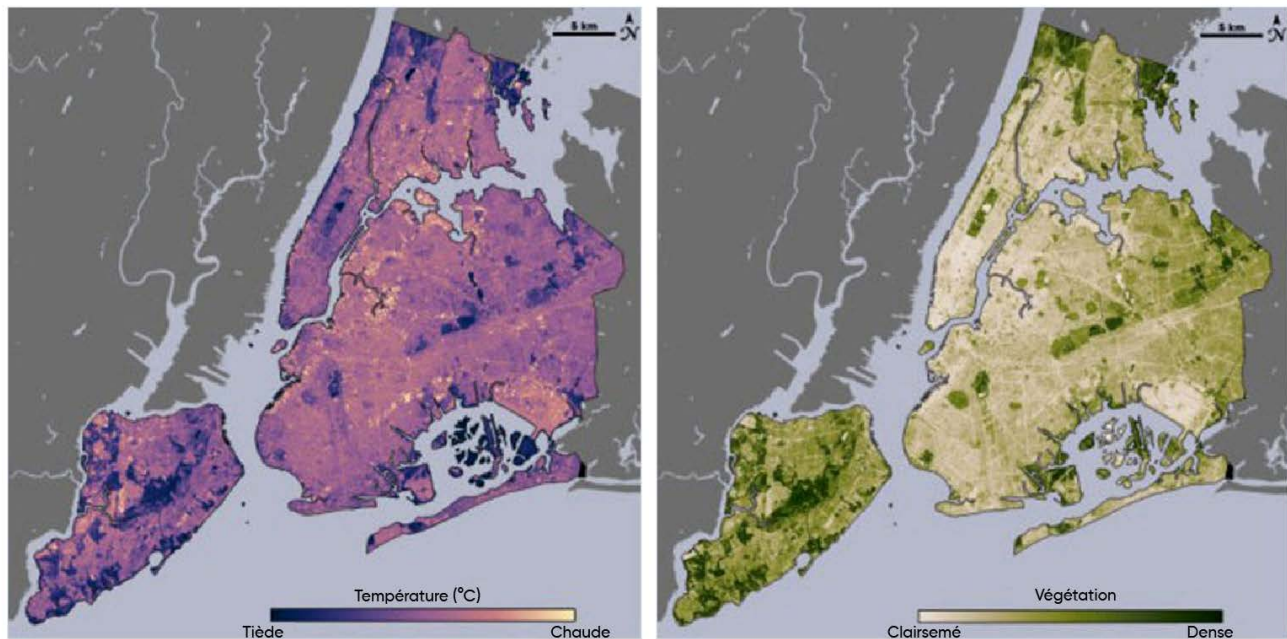


Figure 2.8 : Une représentation graphique de la corrélation entre les arbres urbains et la température.
Source : NASA Earth Observatory, 2006.

2.3.5 Approvisionnement en eau

L'eau est une ressource essentielle pour les villes et les milieux urbains, et la dégradation de la qualité de l'eau est couramment constatée comme étant un impact potentiel d'un climat en changement (voir le chapitre « [Ressources en eau](#) »). La mise à disposition d'une eau potable propre dépend de l'approvisionnement, du traitement et de la distribution, l'approvisionnement étant le principal défi lié aux changements climatiques. Les administrations locales ont toujours géré la variabilité de l'approvisionnement; cependant, cela se produisait dans le contexte d'une variabilité climatique relativement prévisible (de Loe et Plummer, 2010). Les causes des pénuries d'eau varient en fonction de l'hydrologie d'une région donnée, et varient largement dans l'ensemble du Canada (de Loe et Plummer, 2010). Par exemple, dans les régions dominées par les chutes de pluie, les pénuries d'eau sont souvent causées par une diminution des précipitations estivales, alors que dans les régions dominées par la fonte des neiges, une fonte plus précoce ou plus rapide ou une réduction du manteau neigeux pourrait en être la cause (BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, 2019). Des facteurs supplémentaires, tels que les décisions en matière de gestion des eaux de ruissellement qui ont une incidence sur la recharge des nappes d'eau souterraines, affectent également l'approvisionnement municipal en eau potable et la qualité de celle-ci (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017).

Il y a eu certaines évaluations de la résilience des infrastructures de traitement et de distribution de l'eau. Par exemple, une évaluation du système d'approvisionnement en eau de Calgary a révélé que le système était généralement résilient grâce à des processus de traitement robustes, deux sources d'eau brute et une redondance au sein du système de distribution (Associated Engineering, 2011). De plus, il existe des outils pour guider le processus de planification. Ces outils soulignent souvent l'importance d'une gouvernance collaborative lors de la gestion des bassins versants (p. ex. POLIS Project on Ecological Governance et Centre autochtone de ressources environnementales, 2019), y compris l'inclusion de systèmes de connaissances autochtones (Porten et coll., 2016). Un exemple de ce type de gouvernance peut être vu dans le processus de planification de l'utilisation de l'eau du District régional de la vallée de Cowichan (CVRD) qui a fait intervenir le CVRD, les tribus Cowichan, le Cowichan Watershed Board et Catalyst Paper (Cowichan Valley Regional District, 2018). Ce processus a été créé en réponse à la pression importante exercée sur le système d'approvisionnement en eau potable par des facteurs liés à la demande en eau, à l'utilisation des terres et à la modification du cycle hydrologique due aux changements climatiques (Compass Resource Management Ltd., 2018).

2.3.6 Planification multifonctionnelle du paysage

La planification multifonctionnelle du paysage offre une nouvelle solution de rechange aux cadres de développement urbain qui font appel à l'infrastructure bâtie, telle que les bâtiments, les rues ou les districts, comme élément organisateur central du tissu urbain (p. ex. la croissance intelligente et l'urbanisme néo-traditionnel). Les paysages multifonctionnels sont explicitement conçus pour fournir des fonctions synergiques (p. ex. environnementales, sociales, économiques et culturelles) qui soutiennent la santé écologique et les avantages connexes aux échelles du site, du voisinage, de la ville et de la région et à travers toutes celles-ci (Kabisch et coll., 2017; Sørensen et coll., 2016). Les services écosystémiques sont réintroduits ou renforcés dans le tissu urbain en coordonnant le développement autour de « systèmes et réseaux spatialement et fonctionnellement intégrés de paysages protégés » qui peuvent être soutenus par

des infrastructures construites complémentaires additionnelles (Ahern et coll., 2014, p. 255). L'approche suggère un plus grand besoin de participation des architectes paysagistes tout au long du processus de planification et de conception (Association des architectes paysagistes du Canada, s.d.; Lovell et Johnston, 2009). Bien que les applications efficaces des approches paysagères multifonctionnelles soient encore limitées dans un contexte urbain (Meerow et Newell, 2017; Lovell et Taylor, 2013), le Projet de restitution à l'état naturel de l'embouchure du Don et de protection des terres portuaires contre les inondations de Toronto, avec sa série de propositions d'écosystèmes terrestres, humides et aquatiques, illustre un espace multifonctionnel dans lequel la fonction écologique est restaurée au profit de la santé humaine, des loisirs, de la restauration et de la protection des actifs bâtis (voir la figure 2.7). Étant donné que les mesures relatives aux infrastructures vertes nécessitent souvent de vastes espaces que les promoteurs et autres peuvent convoiter, il est important de prendre en considération les changements climatiques lorsque l'on envisage la croissance urbaine (Geneletti et Zardo, 2016).

Étude de cas 2.2 : Étude pilote de l'évaluation des actifs naturels à Nanaimo, en Colombie-Britannique

Les villes et les milieux urbains sont confrontés au double défi de l'amélioration des infrastructures vieillissantes et de l'accroissement de la résilience de leur environnement naturel. La Municipal Natural Assets Initiative (MNAI) vise à affronter ces défis en aidant les municipalités à relever et à évaluer les actifs naturels et à en tenir compte dans leurs programmes de planification financière et de gestion des actifs (O'Neil et Cairns, 2017), et à prendre en compte les conditions climatiques futures (Municipal Natural Assets Initiative, 2017). En dressant la liste des actifs naturels, comme les terres humides, les forêts et les parcs, les villes et les milieux urbains peuvent travailler à leur protection et compter sur les services écosystémiques pour réduire la charge sur les infrastructures conventionnelles, comme le drainage souterrain.

Guidée par le MNAI, la ville de Nanaimo, en Colombie-Britannique, a cherché à attribuer une valeur financière à ses actifs naturels, en utilisant la Buttertubs Marsh Conservation Area (BMCA) dans le cadre d'une étude pilote. Lorsque l'occasion s'est présentée de participer au MNAI, la Ville venait de terminer la mise à jour du plan de gestion de la BMCA avec l'organisme Nature Trust of British Columbia et Canards illimités. Il y avait un intérêt à explorer comment la Ville pourrait travailler plus efficacement pour aider à la mise en œuvre du plan de conservation, tout en reconnaissant sa valeur dans l'atténuation des débits de la rivière Millstone. La BMCA comprend 55 hectares de terres humides et de plaines inondables réhabilitées à Nanaimo (voir la figure 2.9; Molnar et coll., 2018). Le projet a permis de constater que la BMCA contribue à modérer les rivières en aval lors des phénomènes de précipitations extrêmes, et donc à réduire les risques d'inondation dans la plaine inondable. La construction d'un système conçu pour faire ce que la BMCA fait naturellement coûterait à la Ville entre 6,6 et 8,5 millions de dollars, un chiffre qui augmenterait avec une hausse des phénomènes extrêmes. Les résultats de cette étude pilote aideront la Ville à relever d'autres actifs naturels clés pour les reconnaître et les intégrer aux infrastructures de la Ville (Molnar et coll., 2018). Les niveaux d'eau dans l'ensemble de la BMCA ont été suivis au cours des deux dernières années dans un effort continu de surveillance et d'évaluation du projet.

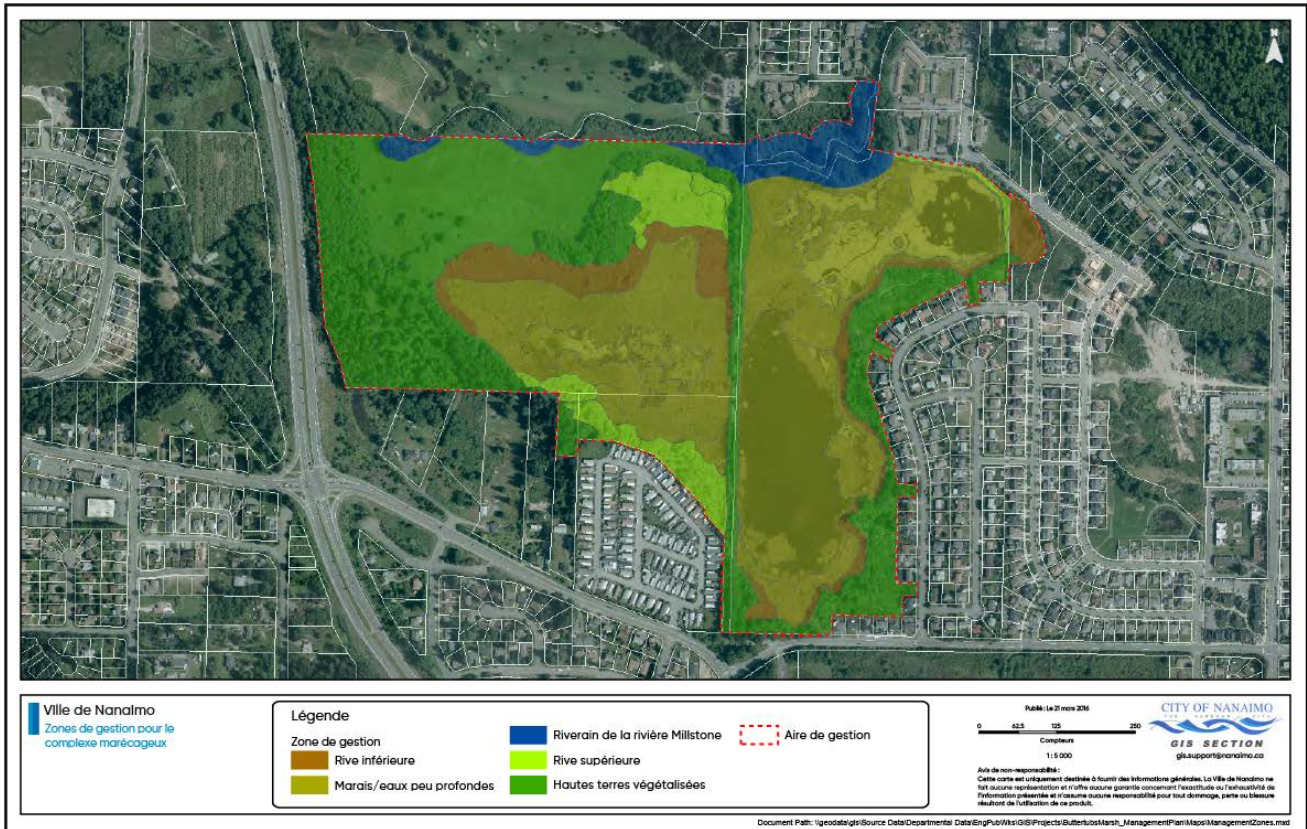


Figure 2.9 : La Buttertubs Marsh Conservation Area, qui comprend 55 hectares de terres humides et de plaines inondables réhabilitées, apparaît au centre (« l'aire de gestion ») de cette photo aérienne de Nanaimo, en Colombie-Britannique. Source : Ville de Nanaimo

2.4 Les changements climatiques frapperont le plus durement ceux qui sont déjà vulnérables dans les villes et les milieux urbains

Les changements climatiques auront un impact sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités dans les villes et les milieux urbains. Toutefois, les membres de la société ne seront pas tous affectés de la même manière par les effets négatifs des changements climatiques. La prise en compte de l'équité sociale dans les décisions en matière d'adaptation contribuera à réduire la vulnérabilité des personnes les plus à risque et garantira une répartition équitable des avantages.

*De nombreux impacts des changements climatiques sur la santé et le bien-être, particulièrement ceux liés à la santé physique des personnes, sont de mieux en mieux compris (voir le rapport *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement*). L'adaptation à ces impacts exige une collaboration continue entre les secteurs et la prise en compte des nombreux facteurs non climatiques qui ont une incidence sur la santé. Comprendre et traiter la vulnérabilité des diverses populations urbaines aux changements climatiques est essentiel pour accroître à la fois la capacité individuelle d'adaptation et la résilience globale des collectivités urbaines. L'établissement de liens pratiques entre le développement des collectivités, les interventions en matière de résilience sociale, les initiatives visant à accroître l'équité, la réconciliation et l'adaptation aux changements climatiques demeure un domaine de pratique important.*

2.4.1 Impacts sur les personnes et les collectivités

Les impacts que les changements climatiques ont sur la santé physique des personnes sont bien compris (voir le tableau 2.2; GERARCC, 2018; Berry et coll., 2014). Cette compréhension devient plus nuancée et commence à englober les effets sur la santé mentale, tels que le désespoir et l'anxiété, ainsi que les troubles de stress post-traumatique chez les personnes touchées par des phénomènes extrêmes ou y réagissant (Decent et Feltmate, 2018; Gifford et Gifford, 2016). Des impacts négatifs peuvent également résulter du chagrin ou de la perte affective vécus par des personnes ou des collectivités concernant un quelconque aspect de leur milieu environnant qui a été altéré par les changements climatiques (p. ex. la perte de cèdres sur l'île de Vancouver) (Cunsolo et Ellis, 2018). Faire de l'adaptation climatique un enjeu de santé publique est susceptible d'obtenir le soutien du public en faveur de l'adaptation (Araos et coll., 2017; Cheng et Berry, 2013) et est de plus en plus répandu dans la pratique de l'adaptation dans les villes et les milieux urbains du Canada. Les changements climatiques affectent également la prestation des services des organismes de santé dans l'ensemble du Canada (p. ex. la surveillance des maladies, la surveillance de la qualité de l'air et la planification d'urgence) (Buse, 2018).

Les impacts négatifs des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques sur les pratiques culturelles comprennent la perte de points de repère et une capacité réduite à participer à des activités récréatives et culturelles, comme l'observation des oiseaux, l'utilisation des terrains de jeux publics et la récolte d'aliments traditionnels (voir la figure 2.10; Gouvernement du Canada, 2016; Ford, 2012).

À Ottawa, par exemple, les festivités de la fête du Canada ont été réduites en raison de la chaleur extrême (Dunham, 2018), et il est probable que le patinage sur le canal Rideau diminuera à l'avenir (Spears, 2017).



Figure 2.10 : Une image thermique du parc Captain John Wilson de Windsor (Ontario) montre que la température de la surface en caoutchouc foncé (zone jaune) sous la structure de jeu est de 69,0 °C. Les photos sont une gracieuseté de la Ville de Windsor.

2.4.2 Déterminants sociaux

Les changements climatiques peuvent exacerber les vulnérabilités socio-économiques existantes (GERARCC, 2018). La vulnérabilité sociale fait référence à un ensemble de caractéristiques sociales (p. ex. le statut socio-économique, l'âge, l'ethnicité, la situation du logement) qui affectent la capacité d'adaptation et qui augmentent la sensibilité de certaines populations aux impacts climatiques (GERARCC, 2018; Cutter et coll., 2010). La prise en compte des vulnérabilités socio-économiques, y compris leur histoire et leur dynamique, permet de s'assurer que les initiatives d'adaptation n'exacerbent pas les inégalités existantes et qu'elles sont mieux placées pour maximiser les avantages pour les groupes marginalisés (Shi et coll., 2016). La relation entre la vulnérabilité sociale et les changements climatiques est souvent évidente lors des phénomènes météorologiques extrêmes. Par exemple, la super tempête Sandy « a mis en évidence le rôle que les facteurs de stress sociétal chroniques – tels que la pauvreté, le manque de mobilité et le manque de cohésion sociale – peuvent jouer en augmentant à la fois la vulnérabilité des collectivités et en entravant la capacité d'une région à se remettre d'une catastrophe » (Grannis, 2016, p. 1). Certains plans d'adaptation reconnaissent les effets que les dangers liés aux changements climatiques peuvent avoir sur les populations sans abri (p. ex. Ville

de Toronto, 2019), et les changements climatiques sont de plus en plus perçus comme un multiplicateur de risques pour la crise du logement abordable à laquelle de nombreuses villes sont confrontées (Ortiz et coll., 2019).

La planification de l'adaptation dans l'ensemble du Canada prend souvent en considération les personnes vulnérables, dont les groupes à faible revenu et les groupes en quête d'équité (c'est-à-dire les groupes confrontés à une répartition inégale des possibilités et des ressources) (Ville de Toronto, 2019). Par exemple, la Ville de Montréal a tenu compte de la sensibilité sociale en évaluant la vulnérabilité des groupes suivants à différents dangers climatiques : les enfants de 0 à 15 ans, les personnes de 65 ans et plus, les personnes vivant seules, les personnes démunies, les immigrants récents et les personnes ne parlant ni le français ni l'anglais (Ville de Montréal, 2017). Et pour cause, la majorité des 53 décès liés à la chaleur lors de la vague de chaleur de 2018 à Montréal étaient des hommes de plus de 50 ans qui vivaient seuls (Santé Montréal, 2018). L'encadré 2.4 décrit plus en détail les impacts et l'adaptation liés aux périodes de chaleur accablante dans les villes et les milieux urbains. Idéalement, les efforts d'adaptation et de résilience aux changements climatiques devraient compléter les efforts existants en matière de réduction de la vulnérabilité sociale, y compris par l'intégration.

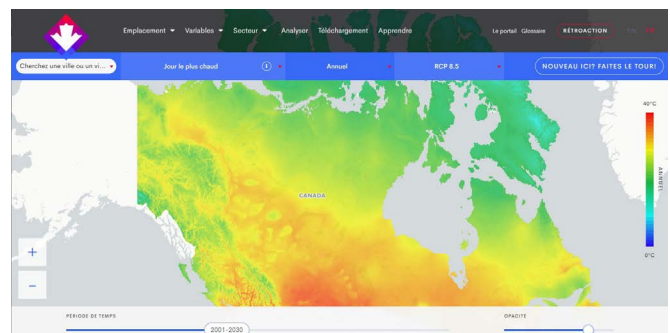
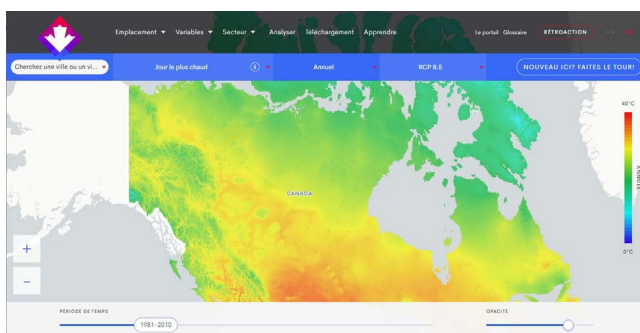
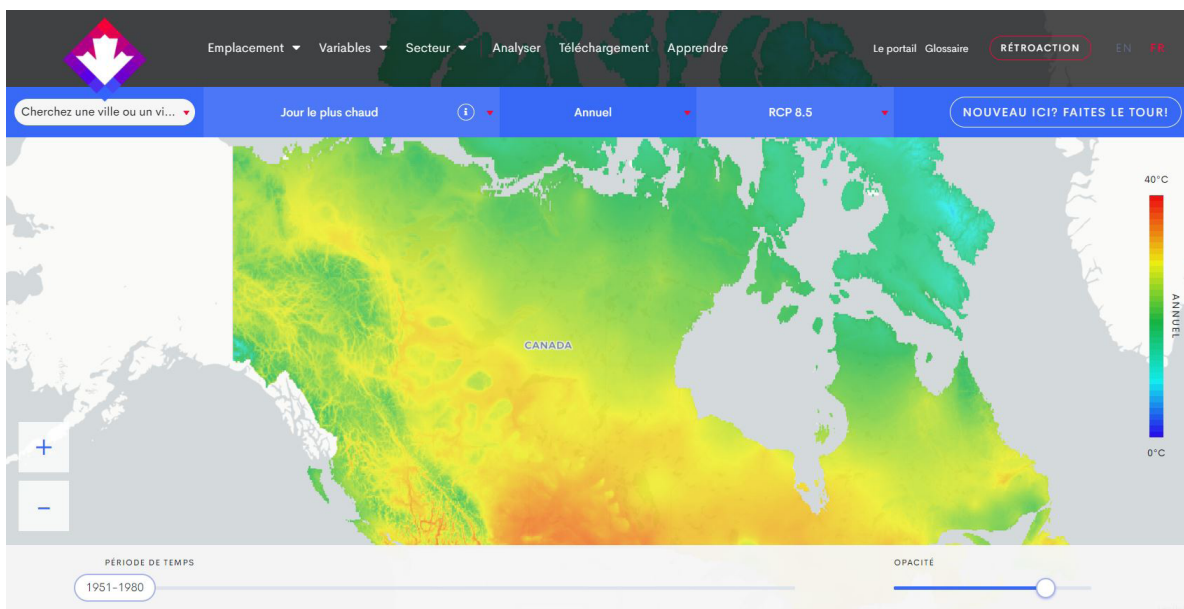
Les incendies dans les milieux périurbains devraient augmenter en fréquence et continuer à coûter plus cher que les incendies qui ne menacent que les ressources forestières (Mahmoud et Chulahwat, 2018; Conseil canadien des ministres des forêts, 2013). Les conséquences de ces incendies comprennent la mortalité, les effets négatifs sur la santé mentale (p. ex. le trouble d'anxiété généralisée), les migrations ainsi que les maladies respiratoires. Les particules provenant de la fumée des incendies de forêt peuvent affecter la qualité de l'air et la santé sur de longues distances. Ces impacts sont souvent plus prononcés pour les populations vulnérables, notamment les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes, les personnes de faible statut socio-économique, ainsi que les premiers intervenants (Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 2019b; Abbott et Chapman, 2018; Agyapong et coll., 2018; Ford, 2012).

Encadré 2.4 : Chaleur extrême

L'effet d'îlot de chaleurs urbain résulte de la prévalence, dans les villes, de surfaces dures qui emmagasinent la chaleur, ce qui entraîne souvent des températures de jour et de nuit plus élevées (McDonald et coll., 2016). Cette hausse de la température amplifie les risques auxquels les villes sont confrontées lors des phénomènes de chaleur extrême, qui devraient augmenter en fréquence et en intensité à mesure que le climat change (voir la figure 2.11; Zhang et coll., 2019), dont le nombre de décès liés à la chaleur (Guo et coll., 2018). Les impacts négatifs sur la santé, associés aux phénomènes de chaleur extrême, sont bien compris (voir la vidéo 2.1; Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 2019a; Lebel et coll., 2017). De nombreuses organisations, dont les gouvernements locaux et provinciaux, les autorités sanitaires et le gouvernement fédéral, dirigent souvent les efforts d'intervention en cas de chaleur au Canada. Le plan d'intervention en cas de vague de chaleur de Montréal prévoit « la surveillance des signes de maladies liées à la chaleur, des visites fréquentes aux patients en soins à domicile, l'ouverture de refuges climatisés, la prolongation des

heures d'ouverture des piscines et des campagnes de communication dans les médias » (Araos et coll., 2017, paragraphe 9). Ces efforts ont permis, selon les estimations, de réduire de 2,52 le nombre de décès par jour au cours des phénomènes de chaleur à Montréal (Benmarhnia et coll., 2016).

À Toronto, seulement 128 des 583 écoles du Toronto District School Board disposent de la climatisation, ce qui expose les élèves et les travailleurs à un important stress thermique et peut inciter les parents à garder leurs enfants à la maison les jours d'école (Flanagan, 2018). Comme rénover les écoles pour y installer des climatiseurs coûterait environ 750 millions de dollars, des centres de refroidissement temporaires sont installés dans les bibliothèques et les gymnases (Flanagan, 2018). De nombreux immeubles résidentiels de grande hauteur sont également dépourvus de climatisation, et certaines administrations locales ont mis en œuvre des initiatives d'adaptation pour traiter ce problème. Par exemple, la Ville de Hamilton a formé les propriétaires à faire face à la chaleur extrême en équipant les salles communes d'air climatisé et en demandant aux surintendants de remarquer les symptômes de santé liés à la chaleur et de veiller sur les résidents vulnérables (Guilbault et coll., 2016). Les autorités sanitaires de la Colombie-Britannique étudient le rôle que les stratégies de refroidissement passives peuvent jouer pour maintenir des conditions d'exploitation sûres dans les immeubles, afin d'éviter l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre par le refroidissement mécanique (Lower Mainland Facilities Management, 2018).



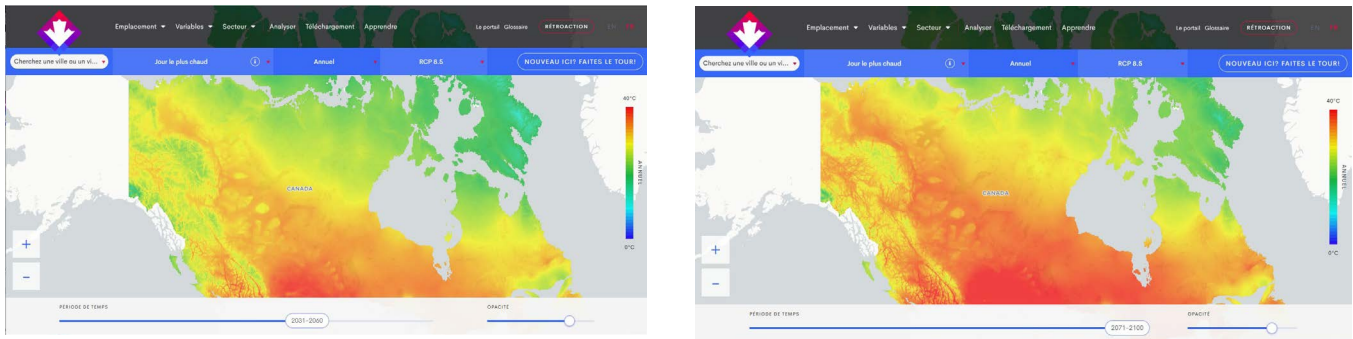
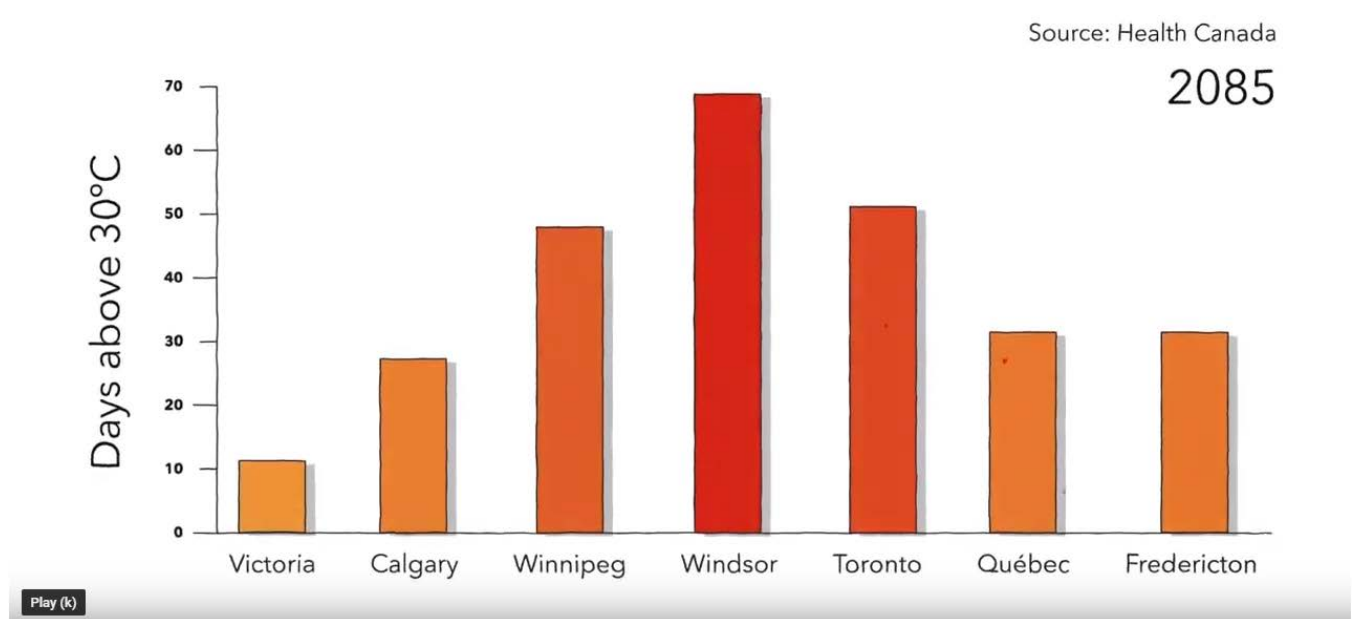


Figure 2.11 : Cette carte provient du site donneesclimatiques.ca et affiche la variable « jour le plus chaud » sur plusieurs échelles de temps.



Vidéo 2.1 : Le Centre de collaboration nationale en santé environnementale a produit une vidéo sur les impacts de la chaleur urbaine et sur l'adaptation à celle-ci (disponible avec sous-titres en français). Source : Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 2018. https://youtu.be/RBwgS_1D5FM

2.4.3 Des systèmes sociaux solides

En plus des infrastructures bâties, les villes et les milieux urbains disposent d'infrastructures sociales avec des atouts tel que les centres communautaires, la confiance et la cohésion sociale (Carter et coll., 2015; Kenton, 2014). La résilience sociale est une condition nécessaire, mais insuffisante, de la résilience climatique (Kwok et coll., 2016). Elle englobe un certain nombre de facteurs, dont le capital social, l'innovation, une économie forte et l'inclusion (Gibberd, 2015). Par exemple, le capital social – qui est une mesure de la cohésion sociale, de la capacité d'agir, de la confiance et de l'apprentissage social (Walker et coll., 2014) – a contribué à réduire le nombre de blessures et de décès lors des inondations de 2013 à Calgary (Haney, 2018). De même, lors de l'atelier de définition de l'agenda de l'initiative 100 Resilient Cities de Calgary, « les participants ont noté que les réponses positives aux chocs sont souvent le fruit d'efforts déployés à l'échelle locale et reposent sur des collectivités cohésives et connectées qui peuvent se rassembler rapidement » (Ville de Calgary, 2017, p. 10). Il est intéressant de noter que les participants ont également fait remarquer que les médias sociaux – principalement Twitter – permettaient une mobilisation rapide de la collectivité.

Il existe de nombreux exemples d'exercices de développement de la résilience sociale au Canada, dont plusieurs sont motivés par un impératif de gestion des urgences ou par des programmes de santé et de bien-être. Par exemple, la stratégie « Healthy City » de la Ville de Vancouver fixe l'objectif suivant : « tous les Vancouverois déclarent avoir dans leur réseau au moins quatre personnes sur lesquelles ils peuvent compter pour obtenir du soutien en temps de crise » (Ville de Vancouver, 2015, p. 26). Le programme « Hey Neighbour! » de Vancouver est une initiative menée par des résidents qui vise à accroître les liens sociaux, le bon voisinage et la résilience dans les immeubles à logements multiples (Ville de Vancouver, 2019a).

2.4.4 Augmentation de l'équité

L'adaptation équitable aux changements climatiques consiste à comprendre la nature inéquitable des impacts climatiques et d'assurer une large représentation dans la planification, la mise en œuvre et l'exécution des initiatives d'adaptation. La création d'équité est censée accroître la capacité d'adaptation et le bien-être dans les villes et les milieux urbains (Rosenzweig et Solecki, 2018), et peut également augmenter la probabilité de mise en œuvre de mesures de résilience climatique (Gonzalez et coll., 2017), bien que cela n'ait pas été exploré de manière empirique au Canada. Afin de réaliser ceci, l'équité doit être présente à la fois dans les processus et les résultats des activités d'adaptation aux changements climatiques (Doorn, 2017). Cette question est parfois décrite comme la question de la « résilience pour qui » (Meerow et coll., 2016). Par exemple, la vidéo 2.2 démontre l'importance de faire participer la jeunesse à l'action climatique.

L'adaptation climatique équitable est une tendance émergente au Canada, et un nombre croissant de pratiques exemplaires internationales inspirent et dirigent l'action ici au Canada. Par exemple, on a exhorté les concepteurs d'infrastructures aux États-Unis d'examiner dans quelle mesure leurs conceptions donnent la priorité à l'équité et à l'inclusion (Climate-Safe Infrastructure Working Group, 2018, p. xi). De même, la Ville de Portland, en Oregon, a intégré l'équité dans son plan de préparation aux changements climatiques (Ville de Portland, 2014). Les mêmes intentions ont été reprises - dans le Victoria Call to Action d'octobre 2019 (voir l'étude de cas 2.3).



Vidéo 2.2 : Cette vidéo décrit l'importance des points de vue des jeunes. Source : ResiliencybyDesign Research Innovation Lab, 2017. <https://youtu.be/bQg42VCZegk>

2.4.5 Adaptation axée sur le milieu

Les approches d'adaptation axées sur le milieu reconnaissent l'importance de la résilience sociale grâce à l'organisation des efforts d'adaptation autour d'espaces communautaires qui soutiennent la formation de liens sociaux et suscitent un fort sentiment d'attachement à un lieu (Adger et coll., 2011). Par exemple, la Ville de Toronto a créé dix centres de résilience dans toute la ville qui ont incité des résidents locaux d'horizons divers à concevoir des projets de résilience dans leurs collectivités (Ville de Toronto, 2019). Lorsque les connaissances relatives aux espaces communautaires et à leur valeur pour les collectivités se superposent aux connaissances scientifiques sur les impacts, de nouvelles possibilités de dialogue participatif entre les intervenants et les citoyens locaux peuvent émerger (Amundsen, 2015). La structure spatiale des attachements au lieu peut être examinée par des techniques d'engagement comme la cartographie SIG (système d'information géographique) participative (Brown et Raymond, 2014), tandis que des approches plus expérientielles comme les projets scientifiques citoyens collaboratifs peuvent favoriser l'apprentissage scientifique sur les changements climatiques de même qu'un sentiment d'appartenance plus profond (Groulx et coll., 2017; Newman et coll., 2016). Lorsque la planification de l'adaptation se concentre sur les valeurs liées au milieu qui sont propres aux différentes collectivités, les citoyens peuvent participer davantage à la définition de ce qu'il est important de protéger par l'adaptation et ont une plus grande influence sur ce qui

est défini comme tel (Amundsen, 2015). En même temps, les experts techniques obtiennent un cadre local pour discuter des changements climatiques qui peut révéler des impacts et des sources de vulnérabilité potentiellement négligés (De Dominicis et coll., 2015; Marshall et coll., 2012). En orientant le renforcement de la résilience vers des espaces qui favorisent nos traditions et nos moyens de subsistance, accueillent des histoires individuelles et communes, et forgent notre identité, nous pouvons également soutenir la mise en œuvre en obtenant le soutien du public pour protéger les lieux contre les changements environnementaux causés par le climat (Nicolosi et Corbett, 2018; Masterson et coll., 2017; Adger et coll., 2013; Devine-Wright, 2013).

Étude de cas 2.3 : Victoria Call to Action : Renforcer la résilience grâce à des collectivités prospères et inclusives

En octobre 2019, plus de 50 maires et conseillers municipaux provenant de l'ensemble du Canada se sont réunis à Victoria (Colombie-Britannique), dans le cadre du forum Livable Cities, pour discuter et échanger des idées sur le renforcement de la résilience sociale, l'appartenance à la collectivité et l'inclusion comme stratégie clé de résilience (ICLEI Canada, 2018b). La séance a abouti à la finalisation, par les élus, d'un appel collectif à l'action pour les dirigeants locaux afin de faire progresser les travaux sur les aspects de la résilience qui touchent à la santé, au bien-être et à la cohésion sociale. Le Victoria Call to Action a été approuvé par les élus locaux présents comme un appel lancé à eux-mêmes et aux autres élus locaux pour qu'ils interviennent et s'engagent à respecter les six points d'action suivants :

1. Veiller à ce que toutes les mesures que nous entreprenons soient accomplies dans une optique de décolonisation, de santé et de bien-être, d'équité et d'inclusion, de justice raciale et sociale et d'intégrité écologique.
2. Habilitier nos collectivités, les doter de ressources et utiliser notre rôle de leader pour créer des occasions d'éducation, de connexion, d'appartenance et de développement de la conscience communautaire.
3. Renforcer le tissu de nos collectivités en construisant des villes et des milieux urbains qui créent un sentiment d'appartenance et un lien fort avec les voisinages.
4. Tirer parti de l'interconnexion des enjeux et rechercher des occasions de surmonter des défis complexes qui engendrent de multiples avantages et solutions.
5. Tirer profit de l'intelligence des jeunes et des résidents de nos collectivités pour mettre de l'avant des solutions ascendantes à nos défis collectifs.
6. Investir nos ressources collectives pour trouver des solutions à court et à long terme qui auront le plus grand impact et nous aideront à aller plus loin, plus vite, ensemble.

2.5 C'est en travaillant ensemble que l'on obtient les meilleurs résultats

Les approches efficaces d'adaptation aux changements climatiques tiennent compte de la diversité des perspectives et priorités. Les administrations locales contribuent de plus en plus à la collaboration fructueuse avec différentes parties prenantes lorsqu'il s'agit de concevoir, de planifier et de mettre en œuvre l'adaptation dans leurs collectivités.

Les initiatives qui aident les villes et les milieux urbains du Canada à accroître leur résilience face à un climat en changement sont plus efficaces lorsqu'elles sont collaboratives. Une collaboration inclusive, transparente et qui intègre la diversité des perspectives, allant des phases initiales de planification jusqu'à la mise en œuvre de l'adaptation, améliore les résultats pour tous. Les administrations locales sont bien placées pour réunir les parties prenantes afin qu'ils mettent en commun leurs propres perspectives et priorités, créent des solutions et mettent en œuvre des mesures. Ainsi, renforcer la capacité des administrations locales à planifier et à mettre en œuvre l'adaptation contribuerait à créer une dynamique d'adaptation dans les villes et les milieux urbains.

2.5.1 Introduction

L'adaptation aux changements climatiques dans les villes et les milieux urbains du Canada est motivée par le besoin des administrations locales à garantir des niveaux de service à leurs collectivités, et soutenue par les politiques et les ressources fédérales (Henstra, 2017) et provinciales. Par exemple, la Nouvelle-Écosse a demandé à ses municipalités de créer des plans d'action pour le climat (Climate Change in Nova-Scotia, 2014), et d'autres provinces ont mis au point des outils et des ressources de planification pour aider les villes à intégrer l'adaptation à l'aménagement du territoire (gouvernement de l'Ontario, 2017; Assemblée législative de l'Ontario, 2017).

Les villes et les milieux urbains fonctionnent dans un contexte de gouvernance qui comprend des entités provinciales et fédérales, ainsi que leur propre personnel, leurs conseils, leurs résidents et leurs entreprises (voir l'encadré 2.5 et l'étude de cas 2.4). Bien que complexe, ce contexte présente une possibilité d'action efficace en matière d'adaptation (Paterson et coll., 2017; Graham et Mitchell, 2016; Revi et coll., 2014).

2.5.2 Coproduction

Une adaptation réussie dans les villes nécessite des approches de planification participative et collaborative qui prennent en compte les points de vue de multiples acteurs (Archer et coll., 2014; p. ex. Vérificateur général du Canada, 2018; Wamsler, 2017; Revi et coll., 2014; Burch et coll., 2010). Ces approches sont généralement décrites comme étant « inclusives, transparentes, participatives, multisectorielles, pluri-gouvernementales et interdisciplinaires » (Rosenzweig et Solecki, 2018, p. 757). La coproduction permet à plusieurs parties de trouver des moyens de combiner leurs efforts et leurs moyens pour atteindre un objectif commun

(Wamsler, 2017). La coproduction peut intervenir à tous les stades du processus d'adaptation, y compris lors de l'évaluation des risques, de l'établissement des objectifs, des activités de mise en œuvre, du suivi et de l'évaluation. Il s'agit d'une approche équitable qui augmente également la probabilité de mise en œuvre, qui dépend en partie du fait que les personnes qui subissent les impacts d'un climat en changement soient sensibilisées, aient le pouvoir d'agir et soient capables de générer des changements (Birkholz et coll., 2014).

2.5.3 Administrations municipales

Les administrations municipales contribuent à l'adaptation aux changements climatiques au Canada, car elles sont motivées par les impacts sur leur territoire qui affectent les niveaux de service et les budgets (Dale et coll., 2013). Si la vidéo 2.3 démontre le rôle important que jouent les urbanistes dans l'adaptation aux changements climatiques, l'adaptation concerne également le personnel de tous les services des municipalités (p. ex. les parcs et l'ingénierie). Les administrations municipales peuvent utiliser de nombreux outils réglementaires pour prendre des décisions en matière d'aménagement du territoire qui tiennent compte des impacts des changements climatiques. Par exemple, le fait de limiter le développement peut accroître la résilience des systèmes naturels (Terton, 2017) et aider les villes à atténuer les risques liés aux incendies en milieu périurbain (Kovacs, 2018).

Les administrations locales sont de plus en plus encouragées – dans la documentation et par les politiques – à mobiliser les différents acteurs de façon plus significative (Institut canadien des urbanistes, 2018; Mees, 2017). Par exemple, dans le cadre du travail de collaboration dans le bassin versant du lac Bras d'Or sur l'île du Cap-Breton, les municipalités travaillent avec les Premières nations, les gouvernements provinciaux, les organismes fédéraux et les citoyens pour assurer la santé future du bassin versant (Bras d'Or Lakes Collaborative Environmental Planning Initiative, 2018). Dans le même ordre d'idées, la stratégie de gestion des inondations du Lower Mainland du Fraser Basin Council est une approche collective en matière de résilience aux inondations côtières et fluviales qui fait intervenir 23 municipalités et de nombreuses organisations de collectivités différentes (Fraser Basin Council, 2018).



Vidéo 2.3 : Cette vidéo souligne le rôle des planificateurs dans le processus d'adaptation. La vidéo est présentée en anglais, mais avec des sous-titres en français. Source : Atlas climatique du Canada, 2018. <https://climateatlas.ca/video/planning-climate-resilience>

2.5.4 Secteurs privé et public

Les villes et les milieux urbains sont des lieux de concentration de l'activité économique. Les changements climatiques peuvent amoindrir la résilience des collectivités en affectant les biens matériels, en perturbant les chaînes d'approvisionnement et les réseaux d'entreprises, et en affectant les travailleurs (Decent et Feltmate, 2018; Hunt et Watkiss, 2011). Le lien entre la résilience économique et la résilience climatique est de plus en plus reconnu. Par exemple, dans le cadre de sa participation au réseau international « 100 Resilient Cities », la ville de Calgary (ainsi que celles de Toronto, de Montréal et de Vancouver) a établi un lien entre la santé de son économie et sa capacité à rester résiliente face aux phénomènes météorologiques extrêmes (Nenshi, 2018). Une adaptation efficace permet aux villes et aux milieux urbains de conserver des cotes de crédit et des valeurs immobilières favorables face à un climat en changement, ce qui fait des villes des lieux propices à l'investissement et à l'immigration (McCullough, 2018). Cela a conduit des villes comme Toronto et Vancouver à participer au Groupe de travail sur la divulgation financière liée aux changements climatiques (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »). De manière analogue, assurer la continuité des activités pour qu'une ville puisse fonctionner pendant et après un phénomène météorologique extrême est essentiel.

Les entreprises du secteur privé, ainsi que les organisations du secteur public comme les universités, les autorités/organismes de santé et les gouvernements provinciaux/fédéraux, sont également des partenaires importants pour les administrations municipales. Ces acteurs possèdent souvent des actifs importants dans les villes et les milieux urbains, et fournissent des services essentiels. Les autorités sanitaires et les administrations municipales, par exemple, sont interdépendantes dans la mesure où les autorités sanitaires dépendent des infrastructures municipales pour fournir des services de santé essentiels aux villes et aux milieux urbains. La création de partenariats solides dès le début du processus de planification de l'adaptation aidera à établir des relations qui sont essentielles dans la phase de mise en œuvre, où de multiples acteurs sont responsables de la réalisation des mesures relevant de leur mandat (voir ICLEI Canada, 2020 pour des exemples de cette approche).

2.5.5 Citoyens

Les citoyens sont au cœur de la coproduction des approches d'adaptation dans les villes et les milieux urbains (Cloutier et coll., 2018; Wamsler, 2016). Les personnes influencent la volonté politique, participent à des programmes de suivi de la science citoyenne (p. ex. ville de Vancouver, 2019b), et ils créent et mettent en œuvre des initiatives en matière d'adaptation. Par exemple, les propriétaires sont de plus en plus tenus de se protéger contre les inondations et d'autres phénomènes météorologiques extrêmes, et de financer leur propre reconstruction au moyen d'une assurance privée (Henstra et coll., 2018; Kovacs et coll., 2018). Les administrations locales peuvent encourager les résidents à agir à l'égard de leur propriété en offrant des incitatifs directs pour l'achat, l'installation ou la construction de certaines mesures d'adaptation. Des incitatifs et des rabais peuvent être jumelés à des initiatives politiques encourageant les propriétaires à prendre des mesures d'adaptation au-delà de celles prévues par un règlement local (Zerbe, 2019). Il existe également un certain nombre de programmes qui ciblent les propriétaires de bâtiments (p. ex. le service public des eaux de ruissellement de Victoria), les encourageant à gérer efficacement les eaux de ruissellement, mais l'adoption de ces programmes a été sporadique (Association canadienne de normalisation, 2018; Thistlethwaite et coll., 2018; Kovacs et coll., 2014; Chambers, 2013; Sandink, 2013b).

Pour encourager efficacement les personnes à prendre des mesures d'adaptation aux changements climatiques, il convient de participer à la coproduction de la perception du risque, de la planification et de la mise en œuvre des mesures. Cette participation peut être obtenue par l'entremise d'organisations issues de la collectivité (Gonzalez et coll., 2017). Par exemple :

- La West Vancouver Shoreline Preservation Society a encouragé la réhabilitation du littoral urbain de l'ouest de Vancouver (Centre for Civic Governance, 2018);
- L'utilisation des dunes à Hamilton s'est accompagnée d'un apprentissage par l'expérience pour les élèves qui a été soutenu par Environment Hamilton et le Hamilton Naturalists' Club, avec l'aide de la ville de Hamilton;
- Le programme Solutions communautaires à la gestion de la pluie de Green Communities Canada travaille avec les propriétaires pour mettre en œuvre des initiatives d'aménagement à faible impact (RAIN Community Solutions, 2020).

2.5.6 Organismes d'intermédiation

Les organismes d'intermédiation aident à mettre en pratique la science et les systèmes de connaissances autochtones, à renforcer les capacités, à contribuer à l'analyse et à organiser des processus de coproduction (Bauer et Steurer, 2014). Les organismes d'intermédiation peuvent être des organisations à but non lucratif, des consultants privés, des chercheurs ou même des organismes gouvernementaux (Graham et Mitchell, 2016). Des organismes d'intermédiation efficaces fournissent aux villes des informations et des mesures crédibles, conformes et novatrices, et contribuent à leur mise en œuvre (Graham et Mitchell, 2016). Comme il est mentionné à la section 2.4, les organismes de santé élaborent de plus en plus de programmes qui renforcent explicitement la capacité d'adaptation.

Encadré 2.5 : Inondation urbaine

Les inondations urbaines associées à des surfaces imperméables, à des infrastructures de drainage inadéquates et à des précipitations de forte intensité et de courte durée constituent l'un des principaux facteurs de dommages au Canada dues aux catastrophes (Bureau d'assurance du Canada, 2018; Friedland et coll., 2014) et devraient devenir plus fréquentes dans un climat en changement (Gaur et coll., 2019; Association canadienne de normalisation, 2018; Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). Pendant ces événements, les administrations locales sont confrontées à une diminution de leur capacité à réagir, à une augmentation des coûts d'exploitation et de réparation, et au risque d'être tenues responsables légalement (Zizzo et coll., 2014; Ville de Stratford, 2010; Campbell et coll., 2007). De plus, les sous-sols inondés caractéristiques de ces événements causent des dommages matériels, des évacuations, une perte d'objets irremplaçables et de valeur sentimentale, des effets négatifs sur la santé physique et mentale (Decent et Feltmate, 2018; Feltmate et coll., 2017), ainsi qu'une réduction des indemnités d'assurance pour les événements futurs (Sandink, 2016).

La gestion de ces risques exige des réponses structurelles et non structurelles (p. ex. une meilleure planification de l'utilisation des terres). Une approche non structurelle importante consiste en une couverture d'assurance en cas d'inondation terrestre. Ce type de couverture s'améliore au Canada (Meckbach, 2018), mais son succès exige une grande capacité d'action de la part des propriétaires, des assureurs et de tous les ordres de gouvernement (Henstra et coll., 2018). Les villes et les milieux urbains, par exemple, doivent améliorer la planification et l'atténuation des risques afin d'accroître la viabilité commerciale de l'assurance contre les inondations résidentielles (Bureau d'assurance du Canada, 2015). Parmi les autres obstacles, il convient de mentionner un manque de sensibilisation aux risques d'inondation (Thistlethwaite et coll., 2018; Sandink, 2016), une compréhension limitée des particularités de la couverture d'assurance habitation (Oulahen, 2015; Sandink et coll., 2010), une compréhension inexacte du niveau d'assistance post-catastrophe des gouvernements provinciaux et fédéral (Henstra et coll., 2018), et un ensemble de facteurs sociopsychologiques (McDonald et coll., 2015; van der Linden et coll., 2015).

La sensibilisation aux dangers liés aux inondations grâce à la mise à jour de la cartographie des inondations (voir la figure 2.12 à titre d'exemple) a été associée à une augmentation volontaire de souscription à la couverture d'assurance en cas d'inondation (Shao et coll., 2017), en plus de contribuer à l'élaboration de règlements administratifs de contrôle des inondations (p. ex. le règlement administratif de la plaine inondable de Prince George). Divers programmes gouvernementaux (p. ex. le Programme national d'atténuation des catastrophes de Sécurité publique Canada) ainsi que des universitaires (Thistlethwaite et coll., 2018) répondent de plus en plus à la nécessité d'avoir accès à de telles cartes. En 2018, Ressources naturelles Canada a publié des lignes directrices supplémentaires sur la cartographie des plaines inondables, ainsi qu'une série d'études de cas (Ressources naturelles Canada, 2018). Cependant, la cartographie des inondations est plus efficace lorsqu'elle est intégrée à la réglementation. La ville de Paradise (Terre-Neuve), par exemple, prévoit actualiser ses règlements administratifs afin de tenir compte de la cartographie des risques d'inondation présentée à la figure 2.12 (Ville de Paradise, 2016).

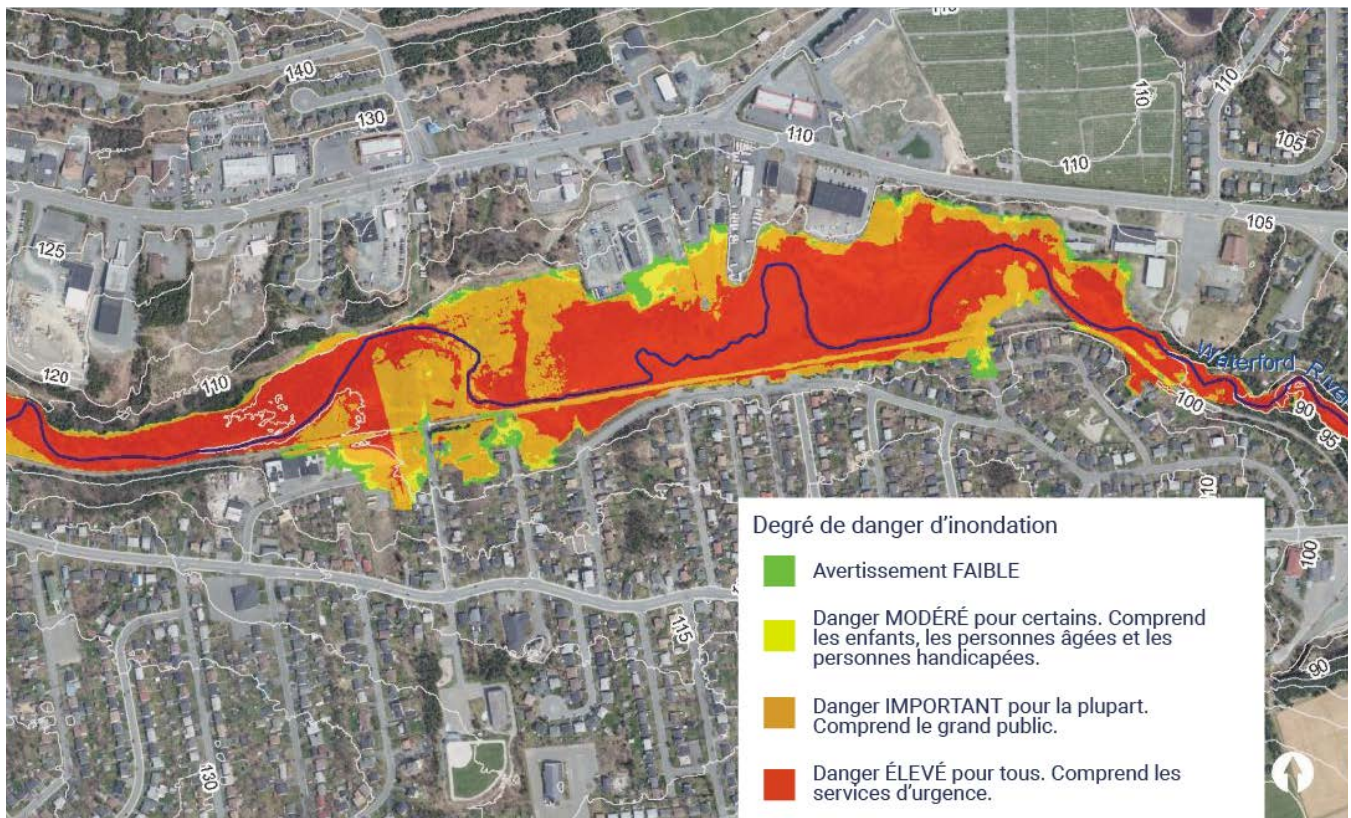


Figure 2.12 : Un exemple de carte des dangers liés aux inondations pour les municipalités de St. John's Mount Pearl et Paradise à Terre-Neuve-et-Labrador. Source : Ressources naturelles Canada, 2018.

Étude de cas 2.4 : Projet Lighthouse de Brampton : Soutenir les populations vulnérables lors de phénomènes météorologiques extrêmes

Le projet *Lighthouse* de la ville de Brampton est une collaboration entre la ville et 20 de ses organismes confessionnels (FBO) (Keam et Murray, 2018). Cette collaboration permet aux FBO de fournir de l'aide aux populations vulnérables lors de phénomènes météorologiques extrêmes et de situations d'urgence non liées aux changements climatiques. Les FBO fournissent des bénévoles présélectionnés, des abris, des évaluations du bien-être pour les membres, du counseling émotionnel, et ils assurent la gestion des dons (Cummins, 2017). La ville fournit des ressources, notamment de la formation, des cartes d'identité et de la signalisation, du matériel promotionnel, certains équipements, un soutien aux subventions de la collectivité, ainsi qu'une couverture d'assurance responsabilité et de la WSIB (Commission de la sécurité professionnelle et de l'assurance contre les accidents du travail) en cas d'urgence (Cummins, 2017). Un travail important a été nécessaire pour structurer ces partenariats.

Faith and the Common Good, un réseau de charité national non confessionnel, a démontré le bien-fondé de ce concept avec une étude préliminaire qui a examiné comment les FBO pourraient être mieux utilisés pour fournir des centres de services locaux durant les situations d'urgence causées par des conditions météorologiques extrêmes (Cummins, 2016). L'étude a révélé qu'en plus de posséder un grand nombre d'actifs matériels (p. ex. des bâtiments, des parcs de stationnement), les FBO ont également l'habitude de desservir les populations vulnérables. Un exercice de cartographie a permis de déterminer l'emplacement des FBO par rapport aux populations vulnérables répertoriées (voir la figure 2.13). Cette cartographie a révélé des conditions favorables à Brampton, et le projet a donc été poursuivi. Un élément crucial du projet a été l'inclusion de la division juridique et des risques de Brampton, laquelle a été en mesure de créer un accord de renforcement des capacités permettant et officialisant le partenariat. Une « trousse des champions » a également été produite pour encourager de nouveaux FBO à se joindre au programme. De nombreuses mesures sont utilisées pour évaluer l'efficacité du programme, notamment le niveau de participation aux ateliers de formation des FBO, les entretiens de suivi avec les FBO après les ateliers et les déclarations d'intérêt à participer, formulées par d'autres collectivités et municipalités (ICLEI Canada, 2018a).

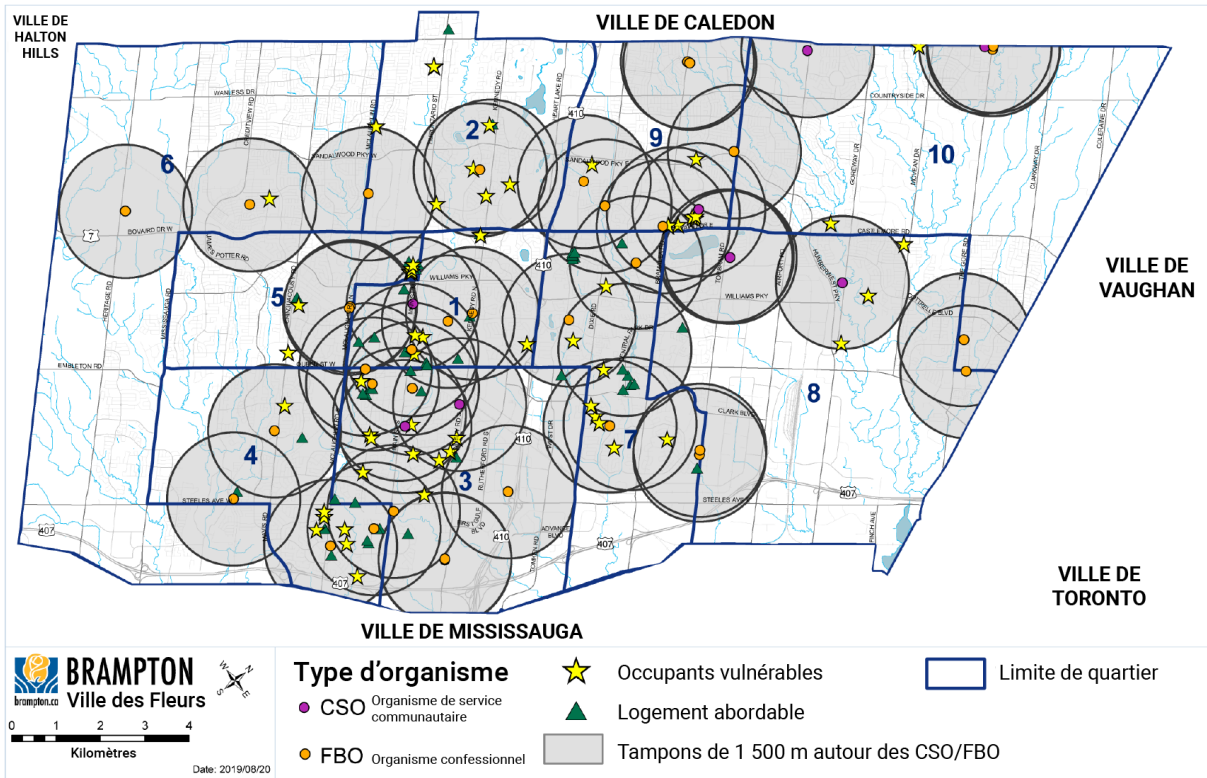


Figure 2.13 : Carte de l'emplacement des organismes professionnels, des logements abordables et des occupants en situation de vulnérabilité. Source : Courtoisie de la Ville de Brampton, 2019.

2.6 Les peuples autochtones des villes et des milieux urbains sont souvent affectés de façons uniques par les changements climatiques

Les villes et les milieux urbains du Canada abritent de nombreuses populations autochtones qui sont souvent affectées de façons uniques par les changements climatiques. Une attention particulière est accordée aux questions autochtones, et l'intégration des perspectives et de l'expertise autochtones dans les processus municipaux de planification de l'adaptation existe, mais elle n'est pas généralisée. Le renforcement de la collaboration avec les peuples autochtones nécessitera une capacité accrue et des études supplémentaires.

Les peuples autochtones qui vivent dans les villes et les milieux urbains du Canada seront confrontés à tous les impacts des changements climatiques décrits tout au long de ce chapitre, ainsi qu'à des impacts précis que les collectivités autochtones vivent et comprennent depuis longtemps (Whyte, 2017). Ces impacts sont liés à la terre et au territoire, au bien-être de la collectivité et à la culture. Les efforts déployés pour faire face aux impacts des changements climatiques sur les peuples et les collectivités autochtones des villes et des milieux urbains doivent s'inscrire dans le contexte plus large de la colonisation et impliquer des organisations dirigées par des autochtones. La création de collaborations fructueuses avec les organisations autochtones renforcera l'intégration des approches d'adaptation dans les villes et les milieux urbains. Des pratiques exemplaires commencent à voir le jour au Canada, bien qu'il faille poursuivre la recherche et la mise en pratique.

2.6.1 Introduction

Toutes les villes du Canada sont construites sur les territoires traditionnels des Premières nations, des Métis ou des Inuits. Lors de la fondation et de l'établissement des villes canadiennes, les peuples des Premières nations ont souvent été délibérément déplacés des villes vers les réserves (Peters et coll., 2018). Néanmoins, les villes et les milieux urbains du Canada abritent d'importantes populations de Premières nations, de Métis et d'Inuits.

De nombreux Métis, Inuits et membres des Premières nations vivant en zones urbaines habitent sur leur territoire traditionnel ou continuent à avoir des liens étroits avec leur territoire d'origine (Snyder et Wilson, 2012; Peters et Robillard, 2009; Peters, 2004). Ainsi, si certains Métis, Inuits et membres des Premières nations sont déconnectés de leur collectivité d'origine, beaucoup continuent d'y être connectés et de pratiquer des activités traditionnelles liées au territoire, comme la chasse et la pêche (Wilt, 2016). Lorsque l'on se penche sur la manière dont les changements climatiques affectent les peuples autochtones en région urbaine et la résilience, il est important de sortir du cadre de la ville et de comprendre les relations plus larges qui ont des effets sur les impacts des changements climatiques et les stratégies d'adaptation (voir l'étude de cas 2.5).

La population des Premières nations, des Métis et des Inuits vivant en région urbaine augmente dans l'ensemble du Canada (Statistique Canada, 2017b). Selon le recensement de 2016, Winnipeg, Edmonton, Vancouver, Toronto et Calgary sont les villes qui comptent le plus grand nombre de membres des Premières nations, suivies de Calgary, Ottawa-Gatineau, Montréal, Saskatoon et Regina (voir la figure 2.14; Statistique Canada, 2017c). Les tendances sont similaires pour les Métis et les Inuits. Un quart des Métis du Canada vivent dans les villes (Statistique Canada, 2018). Bien que les trois quarts des Inuits vivent dans l'Inuit Nunangat, les quatre dixièmes des Inuits qui vivent ailleurs habitent dans les grandes villes. Edmonton, Montréal, Ottawa-Gatineau, Yellowknife et St. John's comptent les plus grandes populations d'Inuits (Statistique Canada, 2018). Les collectivités urbaines des Premières nations, des Métis et des Inuits sont variées et souvent composées de personnes issues de nombreuses nations différentes. Dans de nombreuses villes, les Premières nations, les Métis et les Inuits sont dispersés dans toute la ville et ne sont pas concentrés dans des quartiers en particulier (Howard et Proulx, 2011; Institut Environics, 2010). Les villes sont des sites importants de la gouvernance autochtone. De nombreuses villes abritent des organisations dynamiques qui représentent les intérêts des Premières nations, des Métis et des Inuits.

Les centres d'amitié, les organismes de services sociaux, tels que les organismes de services à l'enfance et à la famille ou les coopératives de logement, ainsi que les organismes de soins de santé, sont des endroits importants pour la gouvernance autochtone dans les villes (Tomiak 2010; Peters, 2004). Ces organisations sont des interlocuteurs importants pour les administrations municipales. En parallèle, la création de réserves urbaines dans certaines villes et l'expansion urbaine sur des collectivités des Premières nations invitent à la collaboration entre les Premières nations et les administrations municipales. De nombreuses collectivités et gouvernements autochtones élaborent leurs propres stratégies de lutte contre les changements climatiques, qui seront utiles aux municipalités voisines.

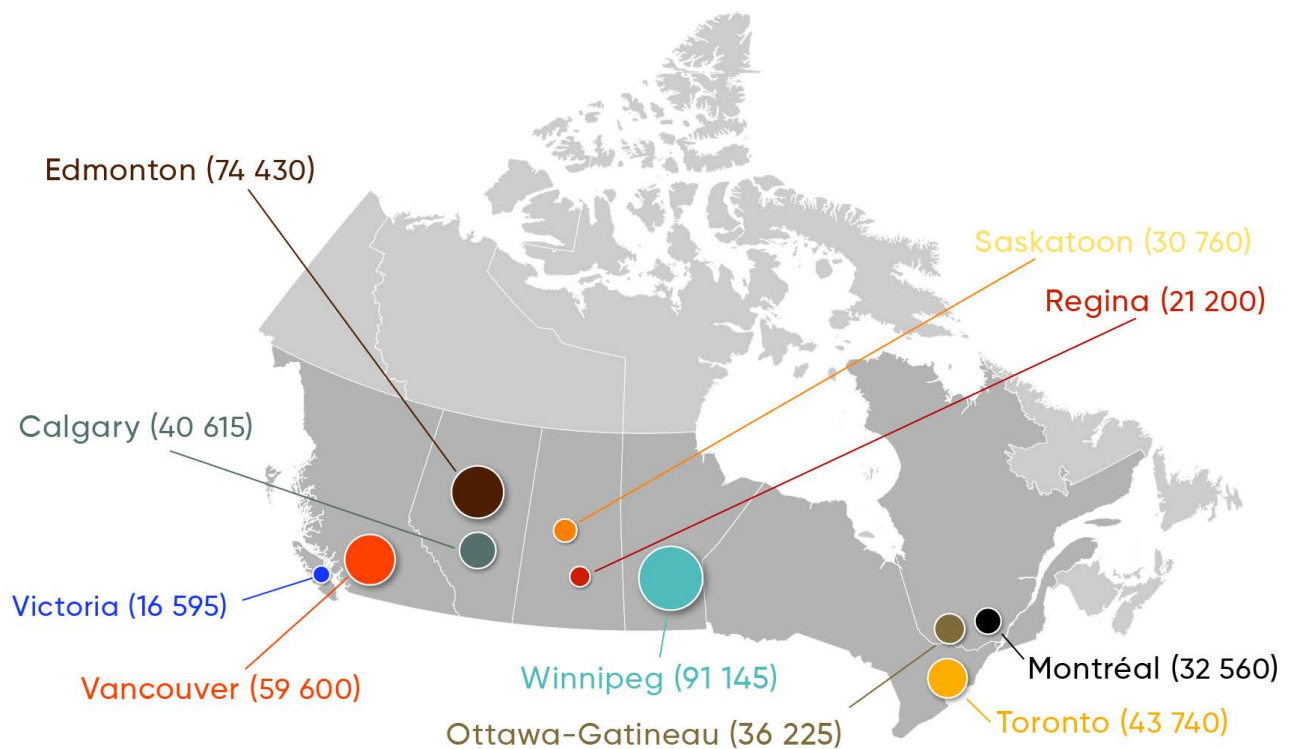


Figure 2.14 : Carte des villes canadiennes à forte population autochtone. Source des données : Affaires autochtones et du Nord Canada, 2016.

2.6.2 Impacts des changements climatiques sur les Premières nations, les Métis et les Inuits

La littérature qui traite des impacts précis des changements climatiques sur les Premières nations, les Métis et les Inuits dans les villes et les milieux urbains est relativement rare. Cependant, il existe un grand nombre de documents qui examinent les effets des changements climatiques sur les peuples autochtones au Canada en général et à l'échelle internationale. Cette littérature démontre que, dans l'ensemble, les changements

climatiques ont déjà fortement affecté les peuples autochtones, avec des effets comme les déplacements hors des territoires traditionnels et des impacts sur la sécurité alimentaire et la santé, ainsi que sur la souveraineté et l'autonomie gouvernementale (Whyte, 2016; Ford, 2012, 2009; Turner et Clifton, 2009).

Certaines mesures d'adaptation aux changements climatiques peuvent avoir un impact négatif sur les populations autochtones vivant dans les villes, ainsi que sur celles qui en sont très éloignées. Par exemple, le fonctionnement de certains éléments de l'infrastructure de gestion des eaux de crue de Winnipeg pendant les inondations de 2011 au Manitoba a inondé quatre collectivités des Premières nations, ce qui a entraîné une évacuation de plusieurs années (Blais et coll., 2016) et un recours collectif (The Globe and Mail, 2017). Les inondations ont détruit des routes et des habitations ainsi que les rizières sauvages, qui sont une source de subsistance et d'activité économique pour les Premières nations. Les effets psychosociaux de cette longue évacuation ont été désastreux (Thompson et coll, 2014; Ballard et Thompson, 2013). Selon les dirigeants de la collectivité, au moins cinq des personnes évacuées se sont suicidées pendant la période d'évacuation prolongée (Radio-Canada, 2016), ce qui reflète l'ampleur des difficultés causées par ces évacuations.

Les villes qui se penchent sur l'adaptation aux changements climatiques doivent examiner comment les initiatives connexes pourraient avoir un impact sur les peuples autochtones à l'intérieur et à l'extérieur des limites urbaines, ainsi que la façon dont les peuples autochtones apportent des connaissances, des points de vue et une expertise toutes indispensables à l'identification et à l'élaboration de solutions d'adaptation. Ce genre de collaboration exige un renforcement des capacités des gouvernements non autochtones, qui doivent s'efforcer de comprendre ces points de vue importants et de travailler avec les peuples et les gouvernements autochtones afin de tirer parti de ces connaissances d'une manière respectueuse et constructive.

2.6.3 Connaissances autochtones et changements climatiques

Les collectivités et les universitaires des Premières nations, des Métis et des Inuits ont souligné l'importance d'utiliser les systèmes de connaissances autochtones en plus de la science occidentale pour faire face aux changements climatiques (GERARCC, 2018). Un nombre croissant de recherches explorent les sources et le contenu des systèmes de connaissances autochtones, ainsi que les considérations éthiques et pratiques liées à l'intégration des connaissances autochtones dans les régimes de gouvernance environnementale (McGregor, 2014, 2013; Patrick, 2013; Whyte, 2012). Bon nombre d'auteurs soulignent que les connaissances environnementales autochtones de base portent essentiellement sur la création de relations qui assurent le maintien de la vie (Whyte, 2018; Kimmerer, 2011; McGregor, 2005). Ainsi, plutôt que de prendre pour objet les connaissances de l'environnement, les systèmes de connaissances environnementales autochtones mettent l'accent sur les relations environnementales et les actions qui créent ces relations. Comme l'écrit McGregor (2005, p. 104), « Il ne s'agit pas seulement de comprendre la relation avec la Terre mère, il s'agit de la relation elle-même ». De nombreux auteurs ont souligné l'importance des systèmes de connaissances autochtones pour le maintien de la souveraineté autochtone (Whyte, 2017). Les systèmes de connaissances autochtones invitent à une approche holistique des changements climatiques qui tient compte non seulement des scénarios environnementaux, mais aussi des facteurs politiques et sociaux. Pour les peuples autochtones, cela signifie que le rétablissement de leur autorité politique et territoriale et les efforts de réconciliation sont des étapes fondamentales pour atténuer les changements climatiques et s'y adapter.

2.6.4 Adaptation et réconciliation

Les connaissances environnementales autochtones ont souvent servi à éclairer la planification environnementale et la gestion des ressources dans les zones rurales et isolées. Cependant, ces connaissances ont rarement été appliquées dans des contextes urbains (Porter, 2013). Pourtant, il est clair que les Premières nations, les Métis et les Inuits doivent participer à la conception et à la mise en œuvre des initiatives d'adaptation aux changements climatiques (gouvernement du Canada, 2016). Cette position est de plus en plus reconnue au Canada. Par exemple, dans sa politique sur la planification des changements climatiques, l'Institut canadien des urbanistes (2018, p. 5) soutient que « le savoir autochtone local et les traditions en matière d'aménagement sont intégrés à la planification dans le respect des droits des peuples autochtones ».

Bien qu'il y ait actuellement peu de recherches sur la manière dont cela pourrait être réalisé dans des contextes urbains, certaines villes canadiennes commencent à étudier les différentes possibilités et font participer les populations autochtones à l'élaboration de stratégies de résilience aux changements climatiques. Par exemple, les participants à la création d'une stratégie de résilience pour la ville de Toronto ont constaté que « la construction de ponts entre les Premières nations, les peuples autochtones, Métis et Inuits, et l'industrie et les projets d'infrastructure de résilience est un élément de base du processus de renforcement de la résilience » (Ville de Toronto, 2018). Ce processus a été facilité par le Réseau autochtone d'action pour le climat (Indigenous Climate Action Network).

Des initiatives semblables ont lieu ailleurs. Par exemple, les efforts de Calgary en matière de relations autochtones sont considérés comme faisant partie intégrante de la résilience sociale de la ville (Ville de Calgary, 2017). De la même manière, la ville de Surrey, en Colombie-Britannique, fait participer la Première nation Semiahmoo à l'élaboration de sa stratégie d'adaptation aux inondations côtières (ville de Surrey, 2018).

Étude de cas 2.5 : Planification de la résilience communautaire aux changements climatiques dans la Nation Tsleil-Waututh

La Nation Tsleil-Waututh, ou « peuple du Inlet », utilise, occupe et gouverne les terres et les eaux de l'inlet Burrard et des bassins versants environnants depuis des temps immémoriaux. Les Tsleil-Waututh sont tenus par leur droit de naissance, leur obligation et la confiance sacrée qui leur est faite de prendre soin de cet environnement et de rétablir sa santé et son équilibre. Le peuple Tsleil-Waututh constate depuis des décennies les impacts complexes des changements climatiques sur son territoire. Grâce à une compréhension inhérente de la façon dont les changements climatiques affectent l'environnement et les valeurs culturelles, la Nation a transmis des histoires, des traditions et connaissances qui sont la trace vivante de ces informations. La Nation Tsleil-Waututh a continuellement adapté et amélioré la résilience de sa collectivité au fil du temps.

L'accélération des atteintes aux valeurs environnementales, culturelles, spirituelles et économiques de la Nation préoccupe particulièrement les Tsleil-Waututh. Les changements du débit des ruisseaux locaux,

la montée du niveau de la mer et l'augmentation de l'érosion des berges et du littoral affectent les terres de la réserve, les occasions de développement économique qui y sont associées et les développements immobiliers, tandis que des étés plus chauds et plus secs menacent l'habitat forestier, la biodiversité et les zones d'utilisation culturelle et récréative. Les Tsleil-Waututh s'inquiètent de la prolifération des espèces envahissantes, de la dégradation des sols et des glissements de terrain dans le bassin versant de la rivière Indian, le cœur de la Nation. La santé et l'abondance du saumon, des aliments sauvages, des espèces sauvages et des zones d'utilisation culturelle sont menacées.

Les membres de la Nation Tsleil-Waututh, conscients de l'urgence et de l'intensité des changements climatiques, élaborent actuellement un processus de planification de la résilience des collectivités face aux changements climatiques (PRCCC). Le PRCCC vise à mieux faire comprendre l'impact des risques liés aux changements climatiques sur la collectivité Tsleil-Waututh, à institutionnaliser la planification de la résilience aux changements climatiques par le gouvernement Tsleil-Waututh, et à élaborer des stratégies d'adaptation qu'il faut prioriser et mettre en œuvre à l'avenir afin de garantir que les générations présentes et futures du peuple Tsleil-Waututh puissent continuer à prospérer dans un climat en changement.

Le PRCCC est une entreprise échelonnée sur plusieurs années. Il évalue les vulnérabilités climatiques des Tsleil-Waututh, élabore un plan d'action avec des stratégies d'adaptation prioritaires et soutient la mise en œuvre de ces stratégies d'adaptation tout en surveillant leur efficacité. Les Tsleil-Waututh ont donc commencé à dresser des cartes de risques et de produire une analyse de sensibilité à l'exposition, en évaluant les vulnérabilités associées aux terres, aux populations et à la culture de la Nation Tsleil-Waututh sur les terres de la réserve Tsleil-Waututh RI no 3 et à proximité.

L'approche écoculturelle et archéologique unique de la Nation Tsleil-Waututh en matière de cartes de risques a révélé des informations climatiques jusqu'alors inconnues. Des tests souterrains ont permis de découvrir des sables riches en charbon encore intacts et des pierres fissurées sous l'action du feu datant de plus de 3 000 ans qui, bien que situés à l'origine sur la terre ferme, se trouvent aujourd'hui loin dans la zone intertidale. En croisant les découvertes archéologiques avec les récits oraux des aînés de la Nation Tsleil-Waututh, l'équipe archéologique a cerné des zones intertidales qui ont reculé (jusqu'à 12 m à certains endroits) en raison de l'érosion du littoral. Avec des échantillons archéologiques de coquilles de palourdes, la Nation étudie la possibilité d'utiliser l'analyse isotopique de l'oxygène en combinaison avec la datation par le carbone 14, afin d'élucider les conditions et les températures océaniques historiques, et les impacts possibles sur le mode de vie des Tsleil-Waututh.

Le PRCCC est une stratégie pertinente du point de vue culturel et local pour renforcer la résilience aux impacts actuels et potentiels des changements climatiques, tant sur le plan culturel que local. Le PRCCC témoigne de l'intendance des Tsleil-Waututh et de leur obligation sacrée de prendre soin des terres, des eaux et de l'air, vu notre climat en changement.

2.7 Les villes et les milieux urbains passent de la planification à la mise en œuvre de l'adaptation

La mise en œuvre des initiatives en matière d'adaptation par les villes et les milieux urbains ne suit pas la progression des risques posés par les phénomènes météorologiques extrêmes actuels et les changements climatiques futurs. Toutefois, les exemples de mise en œuvre se multiplient et les obstacles diminuent. Des pratiques prometteuses telles que l'intégration et des modalités de financement novatrices offrent des occasions d'intensifier et d'accélérer la mise en œuvre.

Bien que la planification de l'adaptation ait progressé rapidement dans les villes et les milieux urbains, la mise en œuvre des mesures d'adaptation a accusé un retard en raison de divers obstacles. Ces obstacles sont généralement bien compris et ont trait au financement, aux outils d'aide à la décision, aux priorités concurrentes, à la gouvernance et aux cloisonnements professionnels. Certaines nouvelles stratégies visant à surmonter ces obstacles sont susceptibles d'accélérer le passage de la planification à la mise en œuvre. Il s'agit notamment de la création de plans d'adaptation explicitement axés sur la mise en œuvre, de l'intégration de l'adaptation dans les opérations, les pratiques et la planification existantes au sein des administrations locales (p. ex. l'intégration des risques climatiques dans la gestion des actifs), et de l'inclusion des Premières nations, des Métis et des Inuits dans la conception et la mise en œuvre des initiatives d'adaptation aux changements climatiques.

2.7.1 Introduction

La sensibilisation à la nécessité de s'adapter aux changements climatiques n'est plus un obstacle important; la disponibilité des outils d'évaluation de la vulnérabilité et des risques augmente, et les plans et stratégies d'adaptation sont désormais répandus (voir l'encadré 2.6; Fédération canadienne des municipalités, 2019; McMillan et coll., 2019; Moghal et coll., 2017). Des exemples de mesures mises en œuvre (voir l'étude de cas 2.6) et de nouvelles politiques existent également. Par exemple, la politique de l'Institut canadien des urbanistes en matière de planification des changements climatiques « envisage un avenir où la planification, la conception, l'aménagement et la gestion des collectivités canadiennes contribuent à stabiliser le climat et à renforcer la résilience devant les changements climatiques inévitables et, du coup, à favoriser des collectivités plus prospères et équitables où il fait bon vivre » (Institut canadien des urbanistes, 2018, p. 3). Cependant, la mise en œuvre de l'adaptation dans les villes et les milieux urbains n'a pas suivi le rythme de l'augmentation des risques climatiques au Canada (ICLEI Canada, 2016). C'est également le cas d'autres pays (p. ex. Woodruff et Stults, 2016). On a tendance à surestimer la capacité de la planification de l'adaptation à produire les résultats attendus de l'adaptation (Mimura et coll., 2014). Ainsi, la progression de la planification de l'adaptation dans les villes et les milieux urbains du Canada n'est pas une indication appropriée de la mise en œuvre. La mise en œuvre demeure le principal défi pour les villes et les milieux urbains qui cherchent à s'adapter aux changements climatiques.

2.7.2 Obstacles à l'adaptation

Divers obstacles rendent l'adaptation difficile à mettre en œuvre. Les obstacles présentés dans le tableau 2.3 sont tirés de la littérature canadienne et internationale, et leur ampleur varie selon les régions du Canada. Plusieurs des obstacles évoqués ci-dessous peuvent être surmontés s'ils sont compris et pris en compte rapidement (ICLEI Canada, 2016). Le cas échéant, ces efforts devraient tenir compte simultanément de plusieurs obstacles (Hamin et coll., 2014).

Tableau 2.3 : Obstacles courants à l'adaptation

DÉFI/OBSTACLE	DESCRIPTION
Financement	<ul style="list-style-type: none">• Incitatifs incompatibles lorsque les revenus des municipalités dépendent du développement (p. ex. taxe foncière, droits d'aménagement)• Un financement limité essentiellement aux projets d'infrastructure à grande échelle, ce qui favorise les grandes villes• Modèles financiers novateurs limités (p. ex. obligations vertes/ de résilience, programmes de partage des coûts, partenariats public-privé)• Opposition du public aux approches novatrices de financement de l'adaptation
Incertitude	<ul style="list-style-type: none">• Incertitude inhérente à l'utilisation de conditions futures pour la prise de décisions• Incapacité de concevoir l'instantanéité des conséquences des changements climatiques• Incertitude stratégique et institutionnelle
Données et outils	<ul style="list-style-type: none">• Études économiques limitées sur les coûts des dommages causés par les impacts des changements climatiques• Études économiques ou analyses limitées sur les coûts/avantages de l'adaptation• Manque de données étroitement liées au contexte• Trop d'outils et de cadres de travail entraînant une surcharge d'informations

DÉFI/OBSTACLE	DESCRIPTION
Données et outils (continué)	<ul style="list-style-type: none">• Peu d'outils pour soutenir spécifiquement la mise en œuvre des initiatives en matière d'adaptation• Peu d'orientations et d'outils pour soutenir la participation de la collectivité en matière d'adaptation
Gouvernance	<ul style="list-style-type: none">• Les paiements de transfert directs des ministères fédéraux aux administrations locales sont limités de manière politique, ce qui nécessite une coordination et des relations avec les gouvernements provinciaux ou des tiers (p. ex. la FCM)• Décalage entre les besoins en matière de mesures locales et les politiques et la législation provinciales• Les conditions habilitantes, comme les mandats, les politiques, les règlements, les normes et les lignes directrices, sont limitées• La volonté politique, la motivation, la volonté d'agir et la confiance en l'efficacité de l'action sont toutes limitées• Le champ de compétence à l'égard de la propriété privée est limité• La coordination avec le secteur privé et les propriétaires fonciers, ainsi qu'avec les groupes vulnérables, est limitée• L'appui de la population est limité et le niveau de services est insuffisant pour répondre à la demande actuelle• Absence de considérations non environnementales dans l'adaptation
Ressources humaines	<ul style="list-style-type: none">• Capacité interne limitée, combinée à des mandats nationaux et des définitions de l'adaptation limités• Collaboration limitée entre les associations professionnelles• Compartimentation et fragmentation institutionnelle

Sources : BC Auditor General, 2018; Doherty et coll., 2016; ICLEI Canada, 2016; Nordgren et coll., 2016; Adaptation to Climate Change Team, 2015; Biesbroek et coll., 2015; Commissaire à l'environnement de l'Ontario, 2015; Eisenack et coll., 2015; Ford et King, 2015; Archer et coll., 2014; Moser, 2014; Pahl et coll., 2014; Toman, 2014; Hallegatte et Corfee-Morlot, 2011; Mees et Driessen, 2011; Burch, 2010.

2.7.3 Faire progresser la mise en œuvre de l'adaptation

Il existe un grand nombre d'outils et de ressources qui contribuent à la planification de l'adaptation (p. ex. les guides de planification – voir la figure 2.15, les subventions de soutien au personnel de la FCM, le bureau de soutien du Centre d'aide des services climatiques). Il s'agit notamment d'outils et de ressources qui contribuent à la mise en œuvre, y compris des orientations sur la planification des échéanciers et des mécanismes de mise en œuvre, ainsi que des études de cas sur les meilleures pratiques (ICLEI Canada, 2016). Il est important que les processus de planification de l'adaptation tiennent compte de la mise en œuvre (p. ex. Ville de Barrie, 2018; Zukiwsky et coll., 2016). Les plans prêts à être mis en œuvre abordent des questions telles que la faisabilité, les ressources, la responsabilité, les partenariats, l'autorité et l'interaction avec d'autres initiatives (Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2015) et mettent l'accent sur les options « sans regret » qui traitent d'un ou de plusieurs dangers climatiques, en plus de questions autres que climatiques qui sont prioritaires pour le gouvernement local (Chen et coll., 2016). Se concentrer explicitement sur la mise en œuvre peut aider à garantir que les plans atteignent leurs objectifs (p. ex. la réduction des risques pour les personnes et les biens), surtout si l'initiative est un grand sujet de préoccupation pour la population et que les implications financières sont évidentes (Picketts, 2015).



Figure 2.15 : Le processus classique de planification de l'adaptation (étapes 1 à 6), auquel des actions habilitantes ont été ajoutées. Source : Adapté de la Ville de Vancouver, 2018

Plutôt que d'élaborer des plans et des stratégies nouveaux ou autonomes, de nombreuses villes et milieux urbains intègrent des considérations relatives aux changements climatiques dans un large éventail d'opérations, de politiques, de plans et de services municipaux, notamment les décisions relatives aux infrastructures, à la gestion des actifs, aux plans officiels de la collectivité et aux plans d'aménagement du territoire, aux plans d'immobilisations, aux plans directeurs et aux cadres de sécurité civile (Ville de Vancouver, 2018). L'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans les cadres et opérations existants est une stratégie efficace pour surmonter les obstacles à la mise en œuvre, tels que l'insuffisance des ressources humaines et financières, le manque de dynamisme et les priorités difficiles à concilier (ICLEI Canada, 2016). Cette stratégie est plus efficace lorsqu'elle s'accompagne d'efforts visant à renforcer et à maintenir les capacités internes (Picketts, 2015), et à créer des forums de collaboration en dehors des limites des champs de compétence (Adaptation to Climate Change Team, 2017).

L'adaptation aux changements climatiques exige une coordination entre de vastes réseaux de partenariat (Rosenzweig et Solecki, 2018). Les forums de collaboration offrent aux représentants municipaux qui ont mis en œuvre des initiatives d'adaptation aux changements climatiques la possibilité de mettre en commun leur expérience (c.-à-d. l'apprentissage entre pairs). Par exemple, certaines municipalités du Québec recherchent des exemples de mise en œuvre dans des villes et des milieux urbains similaires (Bleau et coll., 2018). Un exemple de programme qui cherche à favoriser ce type de collaboration est le projet Resilient-C de l'Université de la Colombie-Britannique, qui permet aux collectivités d'échanger leurs connaissances et leurs ressources pour soutenir la réduction des risques côtiers (Resilient-C Research Team, 2020). De la même manière, les Subventions au partenariat pour l'adaptation aux changements climatiques de la FCM ont donné lieu à des projets qui tirent parti de l'expertise d'organismes sans but lucratif pour permettre à des groupes de villes et de milieux urbains de collaborer; une telle approche favorise également le déploiement de l'action à plus grande échelle.

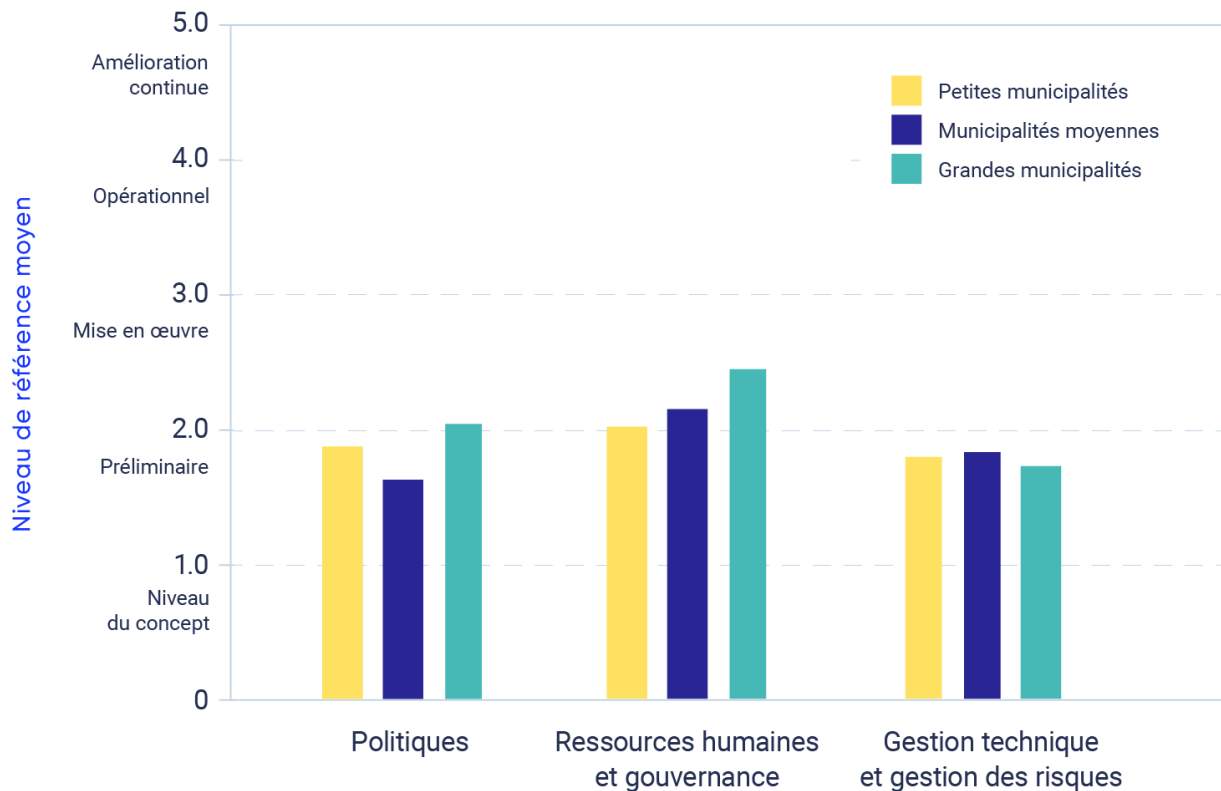
Encadré 2.6 : Analyse comparative des activités d'adaptation dans les villes canadiennes

Entre 2004 et 2014, la plupart des activités d'adaptation au Canada ont eu lieu à l'échelle municipale, la majorité de ce travail impliquant la planification et le renforcement des capacités, mais il y a peu d'exemples d'initiatives de mises en œuvre (Eyzaguirre et Warren, 2014). Un certain nombre d'enquêtes donnent un aperçu de l'état de l'adaptation dans les villes et les milieux urbains du Canada. En 2018 la Fédération canadienne des municipalités (FCM), l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université de Waterloo ont mené une enquête sur l'adaptation locale au Canada (« Local Adaptation in Canada ») qui a révélé que plus de la moitié des 180 administrations municipales interrogées avaient entamé des discussions officielles sur la planification de l'adaptation dans leur collectivité au cours des quatre dernières années (McMillan et coll., 2019). De nombreux services municipaux ont encouragé ces discussions, mais elles sont encore parfois circonstancielles et réactives (voir la figure 2.16), et n'aboutissent souvent pas à une mise en œuvre en raison d'un manque de ressources humaines et financières (McMillan et coll., 2019). Cette enquête s'appuie sur une enquête similaire réalisée en 2012 dans le cadre du Projet sur l'adaptation aux changements climatiques (National Municipal Adaptation Project, 2014), bien que des



comparaisons directes entre les deux enquêtes ne soient pas possibles en raison des différences relatives aux questions et à la méthodologie de l'enquête (McMillan et coll., 2019).

La FCM a élaboré une Échelle de maturité pour l'adaptation aux changements climatiques afin de faciliter l'auto-évaluation de l'état de préparation institutionnelle d'une municipalité et de ses progrès en matière d'adaptation aux changements climatiques. L'échelle aide les municipalités et la FCM à évaluer rapidement leur situation actuelle de même qu'à déterminer les domaines susceptibles d'être améliorés dans trois domaines de compétences, en relation avec l'adaptation aux changements climatiques : 1) politiques; 2) ressources humaines et gouvernance; et 3) capacité technique et de gestion des risques (Fédération canadienne des municipalités, 2017). L'échelle utilise les catégories de population suivantes : petite (< 10 000), moyenne (de 10 000 à 100 000) et grande (> 100 000). Selon les résultats de 110 projets d'adaptation en cours, il a été constaté que les grandes villes ont une capacité de base plus élevée dans les domaines des politiques, des ressources humaines et de la gouvernance (Fédération canadienne des municipalités, 2019). Les municipalités seront invitées à faire une deuxième auto-évaluation après la réalisation de leur projet. Les résultats de 16 projets achevés (voir la figure 2.16) montrent que, même si les projets entrepris par les grandes municipalités se terminent avec un niveau de compétence plus élevé dans les trois domaines, les petites et moyennes municipalités montrent également une progression significative sur certains aspects de l'adaptation au cours de leur projet.



Champs de compétences pour le travail sur l'adaptation aux changements climatiques

Figure 2.16 : Représentation graphique des auto-évaluations de base effectuées à l'aide de l'Échelle de maturité pour l'adaptation aux changements climatiques de la FCM, fournie par les municipalités qui ont reçu le soutien de la FCM pour des projets d'adaptation locaux. L'échelle de cinq points varie de 1,0 (niveau du concept) à 5,0 (niveau d'amélioration continue), et comprend trois domaines de compétences : 1) politiques; 2) ressources humaines et gouvernance; et 3) capacité technique et de gestion des risques. Ce graphique montre les valeurs moyennes d'auto-évaluation fournies par les petites municipalités (c.-à-d. moins de 10 000), les municipalités de taille moyenne (c.-à-d. de 10 000 à 100 000) et les grandes municipalités (c.-à-d. plus de 100 000) au début de leurs projets d'adaptation. Source des données : Fédération canadienne des municipalités, 2019.

Une évaluation du paysage et une analyse des besoins menées par la FCM et Environnement et Changement climatique Canada en 2019 ont permis d'analyser les documents de planification les plus importants (p. ex. le plan officiel de la collectivité) de 732 collectivités locales pour trouver des preuves de leur engagement à l'égard de l'adaptation aux changements climatiques. Cette analyse a révélé que 19 % des municipalités se sont engagées à s'adapter aux changements climatiques, 58 % n'ont manifesté aucun engagement et 23 % n'avaient aucun document de planification de premier ordre disponible en ligne (Fédération canadienne des municipalités et Environnement et Changement climatique Canada, 2019). Parmi celles qui avaient pris des engagements, 28 % se trouvaient en Ontario, 25 % en Colombie-Britannique et 10 % en Alberta et au Québec, respectivement. Une analyse secondaire de 120 administrations municipales a révélé que l'engagement des grandes municipalités (> 50 000) face aux changements climatiques se traduisait généralement par une

adaptation précise ou par des plans de résilience, tandis que pour les petites municipalités, si des références aux changements climatiques étaient présentes, elles se trouvaient dans des plans de développement durable ou de développement communautaire plus larges. Des recherches supplémentaires dans le contexte canadien étayaient cette conclusion (Moghal et coll., 2017).

Les résultats susmentionnés portent essentiellement sur le renforcement et la planification des capacités, et ne s'écartent pas de manière significative de ceux présentés dans l'évaluation de 2014 (Eyzaguirre et Warren, 2014). Bien que des signes d'une mise en œuvre plus étendue existent, les enquêtes susmentionnées ne fournissent pas un aperçu suffisant de l'étendue et de la nature des initiatives d'adaptation mises en œuvre au Canada. Malgré cette lacune, les enquêtes décrites plus haut constituent une source relativement précieuse, quoique parcellaire, de données de base pour les recherches et évaluations futures, et fournissent un élément de comparaison utile. Il convient de noter qu'il existe également des enquêtes internationales (p. ex. Aylett, 2015; Carmin et coll., 2012) et des enquêtes menées par des associations de différents secteurs d'activité (p. ex. Institut canadien des urbanistes, 2019) qui contiennent certains éléments sur l'état de l'adaptation aux changements climatiques dans les villes et les milieux urbains canadiens, bien que ceux-ci soient moins pertinents pour le présent chapitre.

Étude de cas 2.6 : Mesures d'adaptation et avantages connexes résultant de la mise à niveau de la rue Saint-Maurice à Trois-Rivières, QC

Trois-Rivières, au Québec, est une ville riveraine qui compte 134 410 habitants. La Ville dispose d'un plan d'adaptation aux changements climatiques depuis 2013 (SNC-Lavalin Environnement, 2013) et a participé à deux évaluations du CVIIP (Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques) (Osseyrane et Kamal, 2013; Rivard et coll., 2013). Le Grand projet de la rue Saint-Maurice est une initiative d'adaptation importante résultant de ce plan. Cette initiative visait à améliorer considérablement un tronçon de 1,3 km de route résidentielle (Ville de Trois-Rivières, 2018). Dans le cadre de ce projet, on a utilisé une combinaison d'infrastructures bâties et naturelles dans le but de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain, d'augmenter la présence de plantes, d'embellir le paysage, d'améliorer la sécurité des piétons et des automobilistes dans le quartier, et de contribuer à la reconstitution de la nappe phréatique en eau potable par une saine gestion des eaux de ruissellement (voir la figure 2.17; Ville de Trois-Rivières, 2018). Plus de 135 arbres, 1 000 arbustes et 18 000 plantes ont remplacé des places de stationnement le long de la rue. Le projet comportait également une importante composante d'infrastructure bâtie, notamment l'installation de 5,05 km de tuyaux et de 103 puisards pour gérer les eaux de ruissellement non absorbées par l'infrastructure verte.



Figure 2.17 : Un aperçu des mesures d'adaptation et d'atténuation mises en œuvre grâce à l'amélioration de la rue Saint-Maurice à Trois-Rivières, QC. La photo est une gracieuseté de la Ville de Trois-Rivières.

Les données de suivi et d'évaluation pour ce projet ne sont pas encore disponibles, mais le seront une fois le projet terminé. Une équipe de recherche devrait recueillir des données avant et après l'initiative sur le débit de pointe, le volume d'eau, l'infiltration et les paramètres de qualité de l'eau (Ouranos, 2017). Le projet de mise en œuvre a été principalement financé par le Fonds pour l'eau potable et le traitement des eaux usées, et il est prévu de mener des projets similaires ailleurs au Québec une fois l'évaluation du projet pilote terminée.

2.8 Le suivi et l'évaluation de l'adaptation constituent une étape importante et souvent négligée

Des méthodes de suivi et d'évaluation sont nécessaires pour suivre les progrès de l'adaptation et mesurer si les efforts d'adaptation aboutissent aux résultats souhaités. Bien que des approches prometteuses existent, le suivi et l'évaluation des projets d'adaptation et de leurs résultats sont encore rares, et il demeure avantageux d'aider les villes et les milieux urbains à élaborer des approches efficaces et exhaustives.

Malgré un travail conceptuel considérable sur le suivi et l'évaluation (S&E) de l'adaptation, il demeure difficile pour les villes et les milieux urbains d'appliquer cette étape. Cela s'explique en partie par le fait que le domaine de l'adaptation au Canada commence seulement à entrer dans la phase de mise en œuvre de manière significative. Cette transition stimulera probablement la diffusion d'approches de S&E que les villes et les milieux urbains pourront utiliser pour surmonter les difficultés qui leur sont inhérentes, notamment le changement des bases de référence et les besoins en ressources et en attribution. Les approches de suivi et d'évaluation fonctionnent mieux lorsqu'elles indiquent qui tire profit de l'adaptation, lorsqu'elles intègrent la responsabilité aux résultats des investissements dans l'adaptation, lorsqu'elles prennent en compte les nombreux avantages connexes et se prêtent aux réorientations. L'opérationnalisation du suivi et de l'évaluation de l'adaptation à des contextes spécifiques sera un domaine de pratique important à court terme.

2.8.1 Introduction

Alors que les villes et les milieux urbains du Canada commencent à passer de la planification à la mise en œuvre de l'adaptation, il devient urgent d'adopter des approches de S&E qui peuvent être utilisées pour déterminer les conditions de base, orienter les mesures à prendre, suivre les progrès et évaluer la mesure dans laquelle la capacité d'adaptation ou la résilience sont réalisées. L'impératif de suivi et d'évaluation de l'adaptation s'applique à tous les niveaux. Les recommandations en matière de suivi et d'évaluation sont reprises dans l'Accord de Paris (Ford et coll., 2015), le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes, le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, les plans d'adaptation provinciaux (BC Auditor General, 2018) et à l'échelle locale. Il existe une documentation abondante offrant des conseils sur le suivi et l'évaluation de l'adaptation (p. ex. Brown et coll., 2018; Leagnavar et coll., 2015; Bours et coll., 2014; Dinshaw et coll., 2014; Pringle, 2011; Jacob et coll., 2010), en plus d'une documentation de substitution abondante (p. ex. la résilience aux catastrophes, l'évaluation des programmes, la gestion des risques). Cependant, la transposition d'indicateurs et d'approches utilisables issus de cette documentation risque d'être difficile pour les villes, en particulier celles dont les capacités sont limitées.

2.8.2 Progrès et approches

Plusieurs exemples pratiques de S&E de l'adaptation existent au Canada. L'un des plus marquants est le programme Bâtir des collectivités adaptées et résilientes (BARC) d'ICLEI Canada, qui est un cadre de planification participative pour l'adaptation aux changements climatiques qui exige la prise en compte du S&E. Cette exigence a donné lieu à un certain nombre de plans d'adaptation canadiens qui intègrent les indicateurs proposés, mais sans stratégies officielles de suivi et d'évaluation pour le moment (p. ex. Ville de Vancouver, 2012, p. 54). Un exemple plus régional d'indicateurs d'adaptation dans le contexte canadien consiste dans les indicateurs « État du bassin » du Columbia Basin Trust (Columbia Basin Trust, 2015). La ville de Surrey, en Colombie-Britannique, utilise une série d'indicateurs de durabilité et d'adaptation pour faire état de ses progrès et encourager la prise de mesures (voir l'étude de cas 2.7).

En 2018, Environnement et Changement climatique Canada a réuni un Groupe d'experts sur les résultats en matière d'adaptation et de résilience aux changements climatiques (GERARCC) qui a mis au point une série d'indicateurs – structurés autour des cinq principaux domaines d'intervention du pilier de l'adaptation du Cadre pancanadien – qui pourraient être utilisés pour mesurer les progrès en matière d'adaptation (GERARCC, 2018). Il s'agit notamment d'indicateurs de processus et de résultats, dont beaucoup font référence à des développements mesurables au niveau du gouvernement local ou de la collectivité (p. ex. le nombre de jours d'interruption des services de base et des infrastructures essentielles). Les défis possibles pour la mise en place des indicateurs du GERARCC au niveau du S&E des villes incluent le manque de données pertinentes, ainsi que le fait que les données ne sont pas organisées de manière à être utiles pour les processus de S&E (GERARCC, 2018). Une formation et une assistance technique sur la collecte et l'organisation des données faciliteraient une application uniforme du S&E.

Il existe plusieurs cadres internationaux de planification de la résilience qui comprennent des directives de S&E pour les villes. Le plus important d'entre eux est le programme Villes résilientes et le Cadre de résilience des villes de l'UNDDR, avec son indice de résilience des villes, associé au programme 100 Resilient Cities de la Fondation Rockefeller. L'Indice de résilience des villes mesure la performance relative dans le temps plutôt que de comparer les villes. Il fournit des indicateurs et des mesures qui peuvent être utilisés comme base commune pour le suivi et l'évaluation, afin de créer des points de référence pour les comparaisons avec d'autres villes qui visent à déterminer les points faibles et à suggérer des actions qui peuvent améliorer la résilience (ARUP et partenaires, 2016). De manière semblable, le Cadre et classification des risques climatiques et adaptation aux changements climatiques (CRAFT) est un outil d'aide à la décision qui s'appuie en partie sur des indicateurs de processus pour démontrer les progrès réalisés à l'interne et par rapport aux autres villes (Villes C40, 2016). Cependant, les villes canadiennes n'ont participé activement à aucune de ces approches, et ces dernières ont une applicabilité limitée dans le contexte canadien, car elles se concentrent principalement sur les plus grandes villes.

Il existe également des cadres de S&E qui n'incluent pas l'utilisation d'indicateurs. Par exemple, la collecte des résultats utilise des documents et des entretiens relatifs aux programmes pour quantifier les progrès réalisés dans les projets (Eyzaguirre, 2015; Wilson-Grau, 2015). Cette approche peut aider à surmonter certains des défis liés à la disponibilité et à l'organisation des données susmentionnés. Toutefois, d'autres défis persistent. De nombreuses initiatives en matière d'adaptation ne sont pas initialement désignées comme telles (c'est-à-dire l'adaptation involontaire), et ne sont donc pas incluses dans les rapports de S&E, même si elles

contribuent à réduire la vulnérabilité (Hughes, 2015). Par exemple, l'installation de plus grands ponceaux peut résulter d'une analyse des tendances historiques, plutôt que d'un climat en changement.

L'adaptation se déroule également sur de longues périodes, alors que les résultats de projets doivent être évalués au cours des décennies, et souvent seulement après un phénomène extrême (Moser et Boykoff, 2013). Des défis liés à l'attribution existent également. Les villes et les milieux urbains sont des systèmes complexes pour lesquels il peut être difficile de distinguer les liens de cause à effet de sorte qu'un effet (p. ex. la réduction des dommages causés par les inondations) puisse être associé précisément à une intervention d'adaptation (p. ex. l'investissement dans une infrastructure verte). De même, une adaptation efficace se mesure souvent par rapport aux impacts évités (p. ex. moins de visites à l'hôpital pendant une vague de chaleur) (Bours et coll., 2014). Enfin, définir les avantages connexes associés aux initiatives d'adaptation représente un autre défi de taille pour les responsables qui élaborent les plans de S&E en matière d'adaptation aux changements climatiques.

Le choix d'une approche de S&E doit tenir compte de son adéquation au contexte, de sa capacité de précision et d'exactitude, de son pouvoir explicatif et de son utilité (Constas, 2015). Les plans de suivi et d'évaluation sont plus efficaces lorsqu'ils sont créés au début du processus de planification et utilisés pour communiquer les résultats et harmoniser les actions et les rapports entre les services municipaux et avec les parties prenantes externes (ICLEI Canada, 2016). Il est également important que le S&E soit conçu et réalisé de manière participative (Sharifi, 2016; Villanueva, 2011). Comme l'écrivent Moser et Boykoff (2013, p. 3), « Le succès ne se définit pas simplement sur des bases scientifiques, rationnelles, objectives ou procédurales, mais il est, de façon importante, normatif, contingent historiquement et contextuel ». Par exemple, l'inclusion de diverses perspectives — celles des autochtones, des femmes, des entreprises, des populations marginalisées — dans la conception des cadres de S&E peut assurer que les objectifs de résilience sont convenus et équitables (GERARCC, 2018; Doorn, 2017). Cela nécessitera l'élaboration créative d'approches de mobilisation, ainsi que d'outils et de ressources pédagogiques élargis.

Étude de cas 2.7 : Suivi des progrès en matière d'adaptation grâce au tableau de bord de la durabilité de la ville de Surrey

La ville de Surrey est une ville côtière de la Colombie-Britannique qui compte 517 885 habitants. Depuis plus de huit ans, la ville utilise un tableau de bord de la durabilité pour communiquer les progrès réalisés sur les points relatifs à sa Charte de la durabilité, qui traite des thèmes suivants : inclusion, environnement bâti et quartiers, sécurité publique, prospérité économique et moyens de subsistance, écosystèmes, éducation et culture, santé et bien-être, et infrastructures. Le tableau de bord est mis à jour annuellement — sauf lorsqu'il repose sur des données de recensement — et, bien qu'il soit explicitement axé sur la durabilité, plusieurs indicateurs rendent compte de données pertinentes pour l'adaptation aux changements climatiques (p. ex. les arbres d'ombrage plantés sur des terrains publics, l'étendue du réseau d'infrastructures vertes). Certains des indicateurs affichent également des liens qui encouragent les personnes à agir. Par exemple, la page d'indicateurs du nombre d'arbres plantés sur le domaine public contient un lien expliquant comment les résidents peuvent contribuer à la forêt urbaine de Surrey.

La ville de Surrey participe à l'élaboration de la norme ISO 37123 du World Council for City Data pour des villes résilientes, et prévoit d'étudier comment ces indicateurs pourraient être intégrés dans le tableau de bord à l'avenir. Le World Council for City Data a certifié la ville de Surrey ISO 37 120 Platine en 2016. Cependant, le choix des indicateurs d'adaptation ou de résilience sur lesquels il faut produire des rapports n'a pas été simple. Le Plan d'adaptation aux changements climatiques 2013 de la ville de Surrey contient 36 indicateurs proposés relatifs aux mesures du plan (Ville de Surrey, 2013). Une étude interne a conclu que certains de ces indicateurs ne conviennent plus, tandis que d'autres sont compromis par le manque de données et de responsabilité, ainsi que par d'autres facteurs. Cependant, le plus important est que la ville est actuellement en transition vers une approche de prise de décision basée sur les données qui vise à harmoniser la collecte de données et les rapports dans tous les services et initiatives de la ville. Les résultats de ce processus aideront la ville à déterminer quelles données liées à l'adaptation recueillir, en plus de conduire à la création d'un tableau de bord destiné au public qui reposera sur une interface et un système de gestion des données modernes (p. ex. Power BI), au lieu du tableau de bord sur mesure créé pour la ville en 2011.

2.9 Aller de l'avant

2.9.1 Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche

Alors que le domaine de l'adaptation aux changements climatiques évolue au Canada, le besoin d'orientations conceptuelles et pratiques se fait sentir dans un certain nombre de secteurs. Tout d'abord, les décideurs de tout le Canada bénéficieraient d'orientations plus explicites sur la manière d'intégrer l'adaptation dans les flux de travail (p. ex. les processus de planification générale) et les pratiques commerciales (p. ex. l'approvisionnement, le financement et la gestion de projet) existants. Cela aiderait les villes et les milieux urbains à intégrer l'adaptation à l'ensemble de leur organisation, ce qui renforcerait probablement la mise en œuvre.

Il y a une forte demande pour des résultats de recherche et des conseils méthodologiques concernant la quantification des coûts économiques, sociaux et environnementaux des impacts climatiques. Ces analyses peuvent étayer des prévisions convaincantes de retour sur investissement pour les projets d'adaptation. Il y a également une demande d'analyses coûts avantages qui peuvent s'appliquer aux initiatives d'adaptation (Bleau et coll., 2018). Le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) » de cette évaluation représente une avancée significative pour répondre à ce besoin.

Le domaine de l'adaptation lui-même pourrait faire l'objet de recherches futures. La question suivante a orienté une évaluation du domaine de l'adaptation aux changements climatiques aux États-Unis : « À quoi ressemblerait un domaine d'adaptation bien établi et éprouvé, et que faudrait-il pour le construire? » (traduction) (Moser et coll., 2017, p. 8). Une étude de ce type au Canada pourrait aider à mieux définir le rôle que jouent les villes et les milieux urbains dans l'adaptation aux changements climatiques, et la manière dont

ils pourraient être soutenus par d'autres à mesure que le domaine évolue et que les initiatives en matière d'adaptation se multiplient. De même, bien que les cadres qui évaluent la qualité des plans soient courants (Guyadeen et coll., 2019; Dokoska et coll., 2018), les études qui portent sur la qualité des plans d'adaptation commencent à peine à faire leur apparition (par exemple, Woodruff et Stults, 2016).

2.9.2 Nouveaux enjeux

Au cours des prochaines années, plusieurs enjeux d'intérêt pour les villes et les milieux urbains devraient se manifester dans le domaine de l'adaptation. Un de ces enjeux consiste à déterminer la relation appropriée entre l'adaptation aux changements climatiques et la résilience à ceux-ci. Bien qu'il ne soit pas défini de manière cohérente (Meerow et coll., 2016; Meerow et Stults, 2016), le concept de résilience appliqué dans le contexte urbain se mêle à un champ assez large qui inclut des facteurs de stress non climatiques comme le manque de logements abordables, les ralentissements économiques ou la démographie en régression, comme ceux observés au Québec et dans l'Est du Canada (Statistique Canada, 2017d). Bien que le concept de résilience puisse encourager les gouvernements locaux à gouverner de manière collaborative entre diverses disciplines, adoptant ainsi une approche plus systémique, et à prendre en compte les qualités souhaitables des systèmes résilients (p. ex. la souplesse ou la redondance), ce concept peut être difficile à appliquer en pratique, car il ajoute de la complexité à l'entreprise déjà complexe de l'adaptation aux changements climatiques. Parcourir ce terrain discursif et pratique est un nouvel enjeu dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques au Canada, où un nombre croissant de villes lancent des appels d'offres pour des stratégies de résilience climatique.

Ce chapitre a mis en évidence certains des nouveaux enjeux liés aux peuples autochtones et à l'adaptation aux changements climatiques dans les villes et les milieux urbains. L'inclusion des peuples autochtones dans les processus de planification et de mise en œuvre dans les villes et les milieux urbains et à proximité est un nouveau domaine de pratique. De même, les collectivités et les universitaires des Premières nations, des Métis et des Inuits ont souligné l'importance d'utiliser les systèmes de connaissances autochtones en plus de la science occidentale pour faire face aux changements climatiques (GERARCC, 2018). L'inclusion des processus et des produits des systèmes de connaissances autochtones dans la planification et la mise en œuvre de l'adaptation sera probablement une nouvelle priorité dans le domaine de l'adaptation au Canada.

L'intégration appropriée et efficace de l'équité sociale dans les processus de planification et de mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques est un autre nouvel enjeu auquel sont confrontés les décideurs des villes et des milieux urbains. La prise en compte des questions d'équité est censée accroître la capacité d'adaptation et le bien-être dans les villes (Rosenzweig et Solecki, 2018), et peut augmenter la probabilité de mise en œuvre de l'adaptation (Gonzalez et coll., 2017), bien que cela n'ait pas été exploré de manière empirique au Canada. Il est de plus en plus reconnu qu'une vision d'équité doit être adoptée lors de la planification et de la mise en œuvre de l'adaptation, mais les conseils conceptuels et pratiques sur la façon d'adopter cette vision font généralement défaut, en particulier dans les villes et les milieux urbains de petite et moyenne taille.

De nombreuses villes et milieux urbains du Canada ont également commencé à déclarer l'état d'urgence climatique (Climate Emergency Declaration, 2020). L'objectif de la déclaration de l'état d'urgence climatique

est de rappeler que tant que les gouvernements ne reconnaîtront pas et ne déclareront pas publiquement que les changements climatiques constituent une urgence mondiale sans précédent, des mesures appropriées et significatives ne seront pas prises. Comme les déclarations de l'état d'urgence climatique visent à encourager les mesures d'atténuation et d'adaptation, ils constitueront probablement un élément important du contexte d'adaptation au Canada dans les années à venir.

Les responsables de l'adaptation au Canada sont confrontés à un autre nouvel enjeu : celui de faire le lien entre l'adaptation et les efforts de réduction des gaz à effet de serre. Cette approche est de plus en plus souvent appelée « résilience à faibles émissions de carbone » (RFEC) (Nichol et Harford, 2016). La RFEC est très pertinente à l'échelle des administrations locales, en particulier dans les domaines de la gestion des actifs et de la planification stratégique des entreprises (Adaptation to Climate Change Team, 2019). Cette approche fait l'objet de discussions dans la littérature (GIEC, 2018) et son application pratique fait l'objet de recherches dans le contexte des administrations locales, où il est démontré qu'elle présente de multiples avantages connexes en matière de santé, d'équité, de biodiversité et dans d'autres domaines clés (Shaw et coll., 2019); elle est également utilisée dans le secteur du bâtiment. Par exemple, la norme RELi du Green Building Council des États-Unis fournit des orientations sur les approches de RFEC, et il y a une forte pression pour concevoir ou moderniser des bâtiments en fonction de la résilience à faibles émissions de carbone (BOMA Canada, 2019; Bristow et Bristow, 2017).

Il existe également de nouveaux enjeux liés à la poursuite du développement technologique dans les villes et les milieux urbains. Le Conseil national de recherches du Canada considère les capacités en matière d'infrastructures intelligentes et de villes du futur comme une occasion majeure pour le Canada (Conseil national de recherches du Canada, 2019). Il est indispensable que les efforts qui visent à créer des villes intelligentes tiennent compte de la nécessité de s'adapter aux changements climatiques. Par exemple, les voitures sans conducteur représentent un énorme potentiel en matière d'infrastructures vertes, notamment en convertissant les infrastructures routières existantes en surfaces plus perméables permettant la gestion des eaux de ruissellement. Il y a des débouchés similaires en ce qui concerne le rôle des mégadonnées (Ford et coll., 2016) et de l'intelligence artificielle.

2.10 Conclusion

Les changements climatiques continueront à avoir des impacts sur les villes et les milieux urbains du Canada. Bien que l'étendue de ces impacts reste incertaine, il est nécessaire d'agir rapidement pour réduire au minimum l'étendue des impacts négatifs et pour tirer parti des occasions associées aux impacts positifs. Comme le montre l'encadré 2.6, les villes et les milieux urbains du Canada continuent de faire des progrès en matière d'adaptation aux changements climatiques, et le domaine entre dans l'ère de la mise en œuvre. Si une grande partie de cette mise en œuvre se fait de manière réactionnaire, une mise en œuvre stratégique et proactive commence à voir le jour. Grâce à un effort concerté, soutenu et bien éclairé, la mise en œuvre est susceptible d'accroître la capacité d'adaptation et la résilience des villes et des milieux urbains dans le futur.

2.11 Références

- AAPC [Association des architectes paysagistes du Canada] (2018). Abécédaires. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.aapc-csla.ca/abecedaire>>
- AAPC [Association des architectes paysagistes du Canada] (s.d.). « Landscape architects lead climate conscious design and planning ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.csla-aapc.ca/sites/csla-aapc.ca/files/Advocacy/CSLA%20Position%20Paper%20Climate%20Change%20FINAL%20en.pdf>>
- Abbott, G. et Chapman, M. (2018). « Addressing the new normal: 21st century disaster management in British Columbia ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/public-safety-and-emergency-services/emergency-preparedness-response-recovery/embc/bc-flood-and-wildfire-review-addressing-the-new-normal-21st-century-disaster-management-in-bc-web.pdf>>
- ACÉ [Association canadienne de l'électricité] (2019). L'Association canadienne de l'électricité annonce des plans d'adaptation aux changements climatiques en collaboration avec Ressources naturelles Canada. Consulté en février 2020 sur le site <<https://electricity.ca/fr/nouvelles-et-activites/nouvelles/lassociation-canadienne-de-lelectricite-annonce-des-plans-dadaptation-aux-changements-climatiques-en-collaboration-avec-ressources-naturelles-canada/>>
- Adaptation to Climate Change Team (2015). « Paying for urban infrastructure adaptation in Canada: An analysis of existing and potential economic instruments for local governments ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2015/06/Urban-Infrastructure-Optimized3.pdf>>
- Adaptation to Climate Change Team (2017). « Low carbon resilience and transboundary municipal ecosystem governance: A case study of Still Creek ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://act-adapt.org/reports/still-creek-a-case-study-of-transboundary-municipal-ecosystem-governance/>>
- Adaptation to Climate Change Team (2019). « Workshop 2 summary report ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://act-adapt.org/reports/icabcci-workshop-two-summary-report/>>
- Adger, W. N., Barnett, J., Brown, K., Marshall, N., et O'Brien, K. (2013). « Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation ». *Nature Climate Change*, 3(2), 112-117. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1666>>
- Adger, W. N., Barnett, J., Chapin, F. S., et Ellemor, H. (2011). « This must be the place: Underrepresentation of identity and meaning in climate change decision-making ». *Global Environmental Politics*, 11(2), 1-25. Consulté en février 2020 sur le site <https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00051>
- AECOM et Risk Sciences International (2015). « Toronto Hydro-Electric System Limited climate change vulnerability assessment ». Consulté en février 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/th_pievc_cc_assessment_final_external_june_1_2015_-_sep_14_revision_web.pdf>
- Agyapong, V. I. O., Hrabok, M., Juhas, M., Omeje, J., Denga, E., Nwaka, B., Akinjise, I., Corbett, S. E., Moosavi, S., Brown, M., Chue, P., Greenshow, A. J. et Li, X. M. (2018). « Prevalence rates and predictors of generalized anxiety disorder symptoms in residents of Fort McMurray six months after a wildfire ». *Frontiers in Psychiatry*, 9(July), 1-12. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fpsy.2018.00345>>
- Ahern, J., Cilliers, S. et Niemelä, J. (2014). « The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation ». *Landscape and Urban Planning*, 125, 254-259. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.020>>
- Ahiablame, L. M., Engel, B. A. et Chaubey, I. (2013). « Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement ». *Journal of Environmental Management*, 119, 151-161. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.019>>
- Alexander, C. et McDonald, C. (2014). « Urban forests: the value of trees in the city of Toronto ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.td.com/document/PDF/economics/special/UrbanForests.pdf>>
- Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation. (2017). « National infrastructure and buildings climate change adaptation state of play report ». Consulté en février 2020 sur le site <www.ibwgsop.org/assets/IBWG_SoP_Final.pdf>
- Amundsen, H. (2015). « Place attachment as a driver of adaptation in coastal communities in Northern Norway ». *Local Environment*, 20(3), 257-276. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13549839.2013.838751>>
- Araos, M., Ford, J. D. et Austin, S. (2017). « Canada's cities confront climate change ». *GreenBiz*. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.greenbiz.com/article/canadas-cities-confront-climate-change>>
- Archer, D., Almansi, F., DiGregorio, M., Roberts, D., Sharma, D. et Syam, D. (2014). « Moving towards inclusive urban adaptation: Approaches to integrating community-based adaptation to climate change at city and national scale ». *Climate and Development*, 6(4), 345-356. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17565529.2014.918868>>

- Arsenijevich, N. (2018). Et si... les villes devenaient de grands potagers? *Longue-vue*, WSP Canada. Consulté en février 2020 sur le site <http://ca-futureready.wsp.com/longue-vue-2018-t2/longue-vue-2018-t2/?utm_source=Aperture&utm_medium=2018-Q2>
- ARUP (2014). « Cities alive: Rethinking green infrastructure ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/c/cities_alive_booklet.pdf>
- ARUP et partenaires (2016). « Inside the CRI: Reference guide ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.alnap.org/system/files/content/resource/files/main/160516-inside-the-cri-reference-guide.pdf>>
- ASPC [Agence de la santé publique du Canada] (2017). Les incidences des changements climatiques sur la santé de la population canadienne. Consulté en février 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/aspc-phac/HP5-122-2017-fra.pdf>
- Assemblée législative de l'Ontario (2017). Projet de loi 139, collectivités et à protéger les bassins hydrographiques (Loi de 2017 visant à bâtir de meilleures), L.O. 2017. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ontario.ca/fr/lois/loi/s17023>>
- Asset Management BC (2018). « Climate change and asset management: A sustainable service delivery primer ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.assetmanagementbc.ca/wp-content/uploads/The-BC-Framework_Primer-on-Climate-Change-and-Asset-Management.pdf>
- Associated Engineering (2011). « City of Calgary water supply infrastructure: Climate change vulnerability risk assessment ». Consulté en février 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/city_of_calgary_water_supply_infrastructure_report_web.pdf>
- Association canadienne de normalisation (Groupe CSA) (2018). Lignes directrices sur la protection des sous-sols contre les inondations et la réduction des risques. Association canadienne de normalisation (Groupe CSA), Toronto, Ontario. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.csagroup.org/fr/store/product/Z800-18/>>
- Atlas climatique du Canada (2018). « Planning for climate resilience ». Consulté en mai 2020 sur le site <<https://climateatlas.ca/video/planning-climate-resilience>>
- Aylett, A. (2015). « Institutionalizing the urban governance of climate change adaptation: Results of an international survey ». *Urban Climate*, 14, 4-16. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.005>>
- BAC [Bureau d'assurance du Canada] (2015). La gestion financière du risque d'inondation. Consulté en février 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Natural%20Disasters/The_Financial_Management_of_Flood_Risk_FR.pdf>
- BAC [Bureau d'assurance du Canada] (2018). Assurance de dommages au Canada 2018. Consulté sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2018/IBC-Fact-Book-2018-FR.pdf>
- Bahadur, A., Tanner, T., King, D., Kirbyshire, A. et Morsi, H. (2016). « Resilience scan, October-December 2015: A review of literature, debates and social media activity on resilience ». Overseas Development Institute, Londres. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/resource-documents/11261.pdf>>
- Ballard, M. et Thompson, S. (2013). « Flooding, hope and livelihoods: Lake St. Martin First Nation ». *Canadian Journal of Nonprofit and Social Economy Research*, 4(1), 43-65. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.22230/cjnser.2013v4n1a129>>
- Bauer, A. et Steurer, R. (2014). « Multi-level governance of climate change adaptation through regional partnerships in Canada and England ». *Geoforum*, 51, 121-129. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.006>>
- BC Auditor General (2018). « Managing climate change risks: An independent audit ». Office of the Auditor General of British Columbia, Victoria, Colombie-Britannique. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.bcauditor.com/sites/default/files/publications/reports/Climate_Change_FINAL.pdf>
- BC Housing (2019). « Mobilizing building adaptation and resilience ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.bchousing.org/research-centre/library/residential-design-construction/MBAR&sortType=sortByDate>>
- BC Hydro (2019). « Weathering the storm: Many British Columbians not prepared for increasingly severe winter storms ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.bchydro.com/content/dam/BCHydro/customer-portal/documents/news-and-features/report-storm-preparedness-report-nov2019..pdf>>
- BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy (2017). « Addressing climate and health risks in BC: Public health ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/adaptation/health/final_climate_and_health_backgrounder_public_health.pdf>
- BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy (2019). « Preliminary strategic climate risk assessment for British Columbia ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/adaptation/prelim-strat-climate-risk-assessment.pdf>>
- Beatley, T. et Newman, P. (2013). « Biophilic cities are sustainable, resilient cities ». *Sustainability*, 5(8), 3328-3345. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su5083328>>

Benmarhnia, T., Bailey, Z., Kaiser, D., Auger, N., King, N. et Kaufman, J. S. (2016). « A difference-in-differences approach to assess the effect of a heat action plan on heat-related mortality, and differences in effectiveness according to sex, age, and socioeconomic status (Montréal, Québec) ». *Environmental Health Perspectives*, 124(11), 1694-1699. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/EHP203>>

Berry, J. (2016). « Ecosystem-based adaptation to climate change in urban areas: An evaluation of rainwater management practices in Metro Vancouver ». Masters Thesis, Simon Fraser University. Consulté en février 2020 sur le site <http://summit.sfu.ca/system/files/iritems1/16260/etd9436_JBerry.pdf>

Berry, P., Clarke, K., Fleury, M. D. et Parker, S. (2014). Santé humaine, Chapitre 7 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement de Canada, Ottawa, Ontario, 191-232. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre7-Sante-humaine_Fra.pdf>

Biesbroek, R., Dupuis, J., Jordan, A., Wellstead, A., Howlett, M., Cairney, P., Rayner, J. et Davidson, D. (2015). « Opening up the black box of adaptation decision-making ». *Nature Climate Change*, 5(6), 493-494. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2615>>

Birkholz, S., Muro, M., Jeffrey, P. et Smith, H. M. (2014). « Rethinking the relationship between flood risk perception and flood management ». *Science of the Total Environment*, 478, 12-20. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.061>>

Blais, E. L., Greshuk, J. et Stadnyk, T. (2016). « The 2011 flood event in the Assiniboine River Basin: Causes, assessment and damages ». *Canadian Water Resources Journal*, 41(1-2), 74-84. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1046139>>

Bleau, N., Bisailon, A. et Duval, V. (2018). Inventaire et suivi de l'utilisation des ressources en adaptation des milieux urbains aux changements climatiques. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBisailon2018.pdf>>

Bogges, J. M., Becker, G. W. et Mitchell, M. K. (2014). « Storm and flood hardening of electrical substations ». *2014 IEEE PES T and D Conference and Exposition*, 1-5. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1109/TDC.2014.6863387>>

BOMA Canada (2019). Guide de résilience 2019. Consulté en février 2020 sur le site <http://bomacanada.ca/wp-content/uploads/2019/11/BOMA_Resilience_Brief_FRE_v2.pdf>

BOMA Canada (2020). Au sujet de BOMA BEST. Consulté en février 2020 sur le site <<http://bomacanada.ca/fr/bomabest/aboutbomabest/>>

Bours, D., McGinn, C. et Pringle, P. (2014). « Guidance note 1: Twelve reasons why climate change adaptation M and E is challenging ». Consulté en février 2020 sur le site <www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/MandE-Guidance-Note1.pdf>

Brandt, L. A., Derby Lewis, A., Fahey, R., Scott, L., Darling, L. et Swanston, C. (2016). « A framework for adapting urban forests to climate change ». *Environmental Science & Policy*, 66, 393-402. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.005>>

Brandt, L. A., Derby Lewis, A., Scott, L., Darling, L., Fahey, R. T., Iverson, L., Nowak, D. J., Bodine, A. R., Bell, A., Still, S., Butler, P. R., Dierich, A., Handler, S. D., Janowiak, M. K., Matthews, S. N., Miesbauer, J. W., Peters, M., Prasad, A., Shannon, P. D., Stotz, D. et Swanston, C. W. (2017). « Chicago wilderness region urban forest vulnerability assessment and synthesis: A report from the Urban Forestry Climate Change Response Framework Chicago Wilderness Project ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/gtr/gtr_nrs168.pdf>

Bras d'Or Lakes Collaborative Environmental Planning Initiative (2018). « Bras d'Or Charter ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://brasdorcepi.ca/cepi-homepage/bras-dor-charter/>>

Bristow, D. N. et Bristow, M. (2017). « Retrofitting for resiliency and sustainability of households ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(7), 530-538. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0440>>

Brooke, R., O'Neill, S. J. et Cairns, S. (2017). « Defining and Scoping Municipal Natural Assets ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://mnai.ca/media/2018/02/finaldesignedsept18mnai.pdf>>

Brown, C., Shaker, R. R. et Das, R. (2018). « A review of approaches for monitoring and evaluation of urban climate resilience initiatives ». *Environment, Development and Sustainability*, 20(1), 23-40. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10668-016-9891-7>>

Brown, G. et Raymond, C. M. (2014). « Methods for identifying land use conflict potential using participatory mapping ». *Landscape and Urban Planning*, 122, 196-208. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.007>>

Burch, S. (2010). « Transforming barriers into enablers of action on climate change: Insights from three municipal case studies in British Columbia, Canada ». *Global Environmental Change*, 20(2), 287-297. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.11.009>>

Burch, S., Sheppard, S. R. J., Shaw, A. et Flanders, D. (2010). « Planning for climate change in a flood-prone community: Municipal barriers to policy action and the use of visualizations as decision-support tools ». *Journal of Flood Risk Management*, 3(2), 126-139. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01062.x>>

- Bureau de normalisation du Québec (2013). BNQ 3019-190/2013 : Lutte aux îlots de chaleur urbains – Aménagement des aires de stationnement – Guide à l'intention des concepteurs. Consulté en février 2020 sur le site <https://www-secur.criq.qc.ca/bnq/documents/enquetes_publicques/3019-190_dpen.pdf>
- Buse, C. G. (2018). « Why should public health agencies across Canada conduct climate change and health vulnerability assessments? » *Canadian Journal of Public Health*, 109(5-6), 782-785. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17269/s41997-018-0118-6>>
- Bush, E. et Lemmen, D. S. (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf>
- C40 Cities (2016). « Climate risk and adaptation framework and Taxonomy (CRAFT) ». Consulté en février 2020 sur le site <http://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/445_C40_CRAFT_v11.original.pdf?1453129528>
- C40 Cities and AECOM. (2017). « C40 infrastructure interdependencies and climate risks report ». Consulté en février 2020 sur le site <https://unfccc.int/sites/default/files/report_c40_interdependencies.pdf>
- CAC [Conseil des académies canadiennes] (2019). Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada. Ottawa, Ontario. Consulté en février 2020 sur le site <<https://rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-Les-principaux-risques-des-changements-climatiques-pour-le-Canada.pdf>>
- Cairns, S., O'Neill, S. J. et Wilson, S. (2019). « Opportunities to fund municipal natural asset management projects: An overview of six federal infrastructure funding programs ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/spmnaireportfullweb.pdf>>
- Campbell, J., Saxe, D. et Zechner, F. (2007). « Municipal liability for sewer and water pipe failures...despite statutory authority and immunity ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.siskinds.com/cmsfiles/PDF/oswca-paper-to-cwwa-27-feb-2007-final.pdf>>
- Carmin, J., Nadkarni, N. et Rhie, C. (2012). « Progress and challenges in urban climate adaptation planning: Results of a global survey ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.cakex.org/sites/default/files/documents/Urban_Adaptation_Report_23May2012.pdf>
- Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S. et Handley, J. (2015). « Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation ». *Progress in Planning*, 95, 1-66. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.progress.2013.08.001>>
- CCMF [Conseil canadien des ministres des forêts] (2013). Évaluer les tendances passées, présentes et futures en matière de charge de travail relative aux incendies forestiers au Canada. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ccfm.org/pdf/2%20Évaluer%20les%20tendances%20aux%20incendies.pdf>>
- CCN [Conseil canadien des normes] (2019). Des normes pour la résilience climatique des infrastructures : bilan et défis à relever, rapport d'étape 2016-2019. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.scc.ca/fr/system/files/publications/SCC_Infrastructure_Report_FR_WEB_FINAL.pdf>
- CCNSE [Centre de collaboration nationale en santé environnementale] (2019a). Chaleur accablante. Consulté en février 2020 sur le site <<https://ccnse.ca/environmental-health-in-canada/health-agency-projects/chaleur-accablante>>
- CCNSE [Centre de collaboration nationale en santé environnementale] (2019b). Fumée de feux de forêt et santé. Consulté en février 2020 sur le site <<https://ccnse.ca/environmental-health-in-canada/health-agency-projects/fumée-de-feux-de-forêt-et-santé>>
- CCNSE [Centre de collaboration nationale en santé environnementale] (2018). La chaleur peut aussi tuer. Consulté en mai 2020 sur le site <<https://ccnse.ca/videos/la-chaleur-peut-aussi-tuer>>
- Cedeño Laurent, J. G., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G. et Spengler, J. D. (2018). « Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016 ». *PLoS Medicine*, 15(7), 1-20. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605>>
- Centre for Civic Governance (2018). « Build a Better Waterfront with Nature ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.civiccgovernance.ca/build-better-waterfront-nature/>>
- Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation (2015). « Get adapting! Linking climate change vulnerability assessment to adaptation strategies in the Great Lakes Basin ». Présenté à Latournell Conservation Symposium, *Weathering Change: Navigating a New Climate*, Alliston, Ontario, 17-19 Novembre 2015. Consulté en février 2020 sur le site <http://www.latournell.ca/wp-content/uploads/files/past_programs/latournell_final_program_2015.pdf>
- Chambers, K. (2013). « Weeping tile disconnection to reduce the impact of basement flooding ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://docplayer.net/11204245-Weeping-tile-disconnection-to-reduce-the-impact-of-basement-flooding-london-ontario.html>>
- Chang, S. E., Yip, J. Z. K., van Zijll de Jong, S. L., Chaster, R. et Lowcock, A. (2015). « Using vulnerability indicators to develop resilience networks: a similarity approach ». *Natural Hazards*, 78(3), 1827-1841. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-015-1803-x>>

- Chen, C., Doherty, M., Coffee, J., Wong, T. et Hellmann, J. (2016). « Measuring the adaptation gap: A framework for evaluating climate hazards and opportunities in urban areas ». *Environmental Science and Policy*, 66, 403-419. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.007>>
- Cheng, J. J. et Berry, P. (2013). « Health co-benefits and risks of public health adaptation strategies to climate change: A review of current literature ». *International Journal of Public Health*, 58(2), 305-311. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00038-012-0422-5>>
- Climate Change Nova Scotia (2014). « Climate change Nova Scotia: What Nova Scotia is doing ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://climatechange.novascotia.ca/what-ns-is-doing>>
- Climate Emergency Declaration (2020). « Climate emergency declarations in 1,385 jurisdictions and local governments cover 815 million citizens ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://climateemergencydeclaration.org/climate-emergency-declarations-cover-15-million-citizens/>>
- Climate-Safe Infrastructure Working Group (2018). « Paying it forward: The path toward climate-safe infrastructure in California ». Consulté en février 2020 sur le site <http://resources.ca.gov/docs/climate/ab2800/AB2800_Climate-SafeInfrastructure_FinalWithAppendices.pdf>
- Cloutier, G., Papin, M. et Bizier, C. (2018). Les expérimentations de gouvernance de l'adaptation aux changements climatiques: terrains d'apprentissage de l'adaptation. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportCloutier2018-FR.pdf>>
- CNRC [Conseil national de recherches Canada] (2019). Capacités du CNRC en infrastructure intelligente et villes de l'avenir. Consulté en février 2020 sur le site <<https://nrc.canada.ca/fr/recherche-developpement/recherche-collaboration/programmes/capacites-cnrc-infrastructure-intelligente-villes-lavenir>>
- Columbia Basin Trust (2015). « Indicators of climate adaptation in the Columbia Basin ». Consulté en février 2020 sur le site <http://datacat.cbrdi.ca/sites/default/files/attachments/ClimateAdaptation_FinalReport_15-03-15%5B1%5D.pdf>
- Comité directeur de projet (2016). Éclairer l'avenir : Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes 2016. Consulté en février 2020 sur le site <http://canadianinfrastructure.ca/downloads/Bulletin_de_rendement_des_infrastructures_canadiennes_2016.pdf>
- Commissaire à l'environnement de l'Ontario (2015). « Connecting the dots on climate data in Ontario ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://docs.assets.eco.on.ca/reports/other-publications/2015/2015CDRoundtableReport.pdf>>
- Compass Resource Management Ltd. (2018). « Public advisory group summary report Cowichan water use plan ». Consulté en février 2020 sur le site <https://cowichanwupca.files.wordpress.com/2018/10/cowichanwup_finalreport_oct30_2018.pdf>
- Constas, M. (2015). « Measuring resilience: Analysis-based measurement ». Consulté en février 2020 sur le site <www.fao.org/fileadmin/user_upload/fsin/docs/Mark_Constas_compressed.pdf>
- Cowichan Valley Regional District (2018). « Cowichan water use planning update ». Consulté en février 2020 sur le site <https://cowichanwupca.files.wordpress.com/2018/06/cwup_posterboards_jun11_publicmtg.pdf>
- Cross Dependency Initiative (2019). « Case study: XDI Nanaimo regional pilot for climate risk and health infrastructure in British Columbia ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://xdi.systems/wp-content/uploads/2019/04/Nanaimo-Case-Study-Final.pdf>>
- Crowe, B. (2014). « Eliminating combined sewer overflows sur le site Vancouver's waterways ». Vancouver, British Columbia.
- Cummings, L. (2016). « Building local resilience to extreme weather ». Consulté en février 2020 sur le site <https://d3n8a8pro7vnmx.cloudfront.net/faithcommongood/pages/27/attachments/original/1508424395/Feb10_social-capital_cummings.pdf?1508424395>
- Cummings, L. (2017). « Faith that does climate justice ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://climateconnections.ca/app/uploads/2017/06/Lucy-Cummings.pdf>>
- Cunsolo, A. et Ellis, N. R. (2018). « Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss ». *Nature Climate Change*, 8, 275-281. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0092-2>>
- Cutter, S. L., Burton, C. G. et Emrich, C. T. (2010). « Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions ». *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1), 14. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>>
- Dagenais, D., Paquette, S., Thomas, I. et Fuamba, M. (2014). Implantation en milieu urbain de systèmes végétalisés de contrôle à la source des eaux pluviales dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques: balisage des pratiques québécoises, canadiennes et internationales et développement d'un cadre d'implantation pour les municipalités du Sud du Québec. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDagenais2013_FR.pdf>
- Dale, A., Robinson, J., Herbert, Y. et Shaw, A. (2013). « Climate change adaptation and mitigation: An action agenda for BC decision-makers ». *Neurosurgery*, 71(1), 38-46. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182503bf9>>

- De Dominicis, S., Fornara, F., Ganucci Cancellieri, U., Twigger-Ross, C. et Bonaiuto, M. (2015). « We are at risk, and so what? Place attachment, environmental risk perceptions and preventive coping behaviours ». *Journal of Environmental Psychology*, 43, 66-78. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.05.010>>
- de Loe, R. et Plummer, R. (2010). « Climate change, adaptive capacity, and governance for drinking water in Canada », dans *Adaptive Capacity and Environmental Governance*, D. Armitage et R. Plummer (éd.). Springer-Verlag, Berlin, 157-178.
- Decent, D. et Feltmate, B. (2018). « After the flood: The impact of climate change on mental health and lost time from work ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2018/06/After-The-Flood.pdf>>
- Dennis Consultants (2008). « Adapting to climate change: Canada's first national engineering vulnerability assessment of public infrastructure ». Consulté en février 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/appendix_b.4_city_of_greater_sudbury_ontario.pdf>
- Devine-Wright, P. (2013). « Think global, act local? The relevance of place attachments and place identities in a climate changed world ». *Global Environmental Change*, 23(1), 61-69. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.08.003>>
- Diamond Head Consulting Inc. (2017a). « Design guidebook: Maximizing climate adaptation benefits with trees ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/DesignGuidebook-MaximizingClimateAdaptationBenefitwithTrees.pdf>>
- Diamond Head Consulting Inc. (2017b). « Urban forest climate adaptation framework for Metro Vancouver ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/UrbanForestClimateAdaptationFrameworkTreeSpeciesSelection.pdf>>
- Dinshaw, A., Fisher, S., Mcgray, H., Rai, N. et Schaar, J. (2014). « Monitoring and evaluation of climate change adaptation: Methodological approaches ». *OECD Working Papers, No. 74*, Les publications de l'OCDE, Paris. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/5jxrclr0ntjd-en>>
- Doherty, M., Klima, K. et Hellmann, J. J. (2016). « Climate change in the urban environment: Advancing, measuring and achieving resiliency ». *Environmental Science and Policy*, 66, 310-313. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.001>>
- Dokoska, K., McVey, I. et Milner, G. (2018). « Integrating climate change considerations into plans and policies in Durham Region ». Ontario Climate Consortium, Toronto. Consulté en février 2020 sur le site <<https://climateconnections.ca/app/uploads/2018/10/Integrating-CC-in-Durham.pdf>>
- Doorn, N. (2017). « Resilience indicators: Opportunities for including distributive justice concerns in disaster management ». *Journal of Risk Research*, 20(6), 711-731. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13669877.2015.1100662>>
- Dunham, J. (2018). « Canada Day on the Hill: Record heat, turnout down ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ctvnews.ca/canada/canada-day-on-the-hill-record-heat-turnout-down-1.3996190>>
- Eisenack, K., Moser, S. C., Hoffmann, E., Klein, R. J. T., Oberlack, C., Pechan, A., Rotter, M. et Termeer, C. J. A. M. (2015). « Reply to 'Opening up the black box of adaptation decision-making' ». *Nature Climate Change*, 5(6), 494-495. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2619>>
- Elshorbagy, A., Lindenau, K. et Azinfar, H. (2018). « Risk-based quantification of the impact of climate change on storm water infrastructure ». *Water Science*, 32(1), 102-114. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.12.003>>
- Emilsson, T. et Sang, Å. O. (2017). « Impacts of climate change on urban areas and nature-based solutions for adaptation », dans *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice*, N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, et A. Bonn (éd.). Springer Open, Londres, Royaume-Uni, 15-28.
- Engineers and Geoscientists British Columbia (2020). « Climate change information portal ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.egbc.ca/Practice-Resources/Climate/Climate-Change-Information-Portal>>
- Environics Institute (2010). « Urban Aboriginal peoples study: Toronto report ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.uaps.ca/wp-content/uploads/2010/02/UAPS-Toronto-report.pdf>>
- Eyzaguirre, J. (2015). « The impacts of Canada's Regional Adaptation Collaboratives on climate adaptation ». Préparé par ESSA Technologies, Ottawa, Ontario. Consulté sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/environment/pdf/RAC_Project_Impact_Report-eng.pdf>
- Eyzaguirre, J. et Warren, F. J. (2014) Adaptation : établir un lien entre la recherche et la pratique, dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), Gouvernement du Canada, Ontario, Ottawa, 253-286. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre9-Adaptation_Fra.pdf>
- FCM [Fédération canadienne des municipalités] (2017). Échelle de maturité pour l'adaptation. *Programme Municipalités pour l'innovation climatique*. Consulté en février 2020 sur le site <<https://fcm.ca/fr/ressources/mic/outil-echelle-de-maturite-adaptation>>

- FCM [Fédération canadienne des municipalités] (2018). Comment élaborer une politique, une stratégie et un cadre de gestion des actifs. Consulté en février 2020 sur le site <<https://fcm.ca/sites/default/files/documents/resources/guide/comment-elaborer-politique-strategie-gestion-actifs-pgam.pdf>>
- FCM [Fédération canadienne des municipalités] (2019). Programme Municipalités pour l'innovation climatique – Soutenir la lutte contre les changements climatiques à l'échelle locale au Canada : Retour sur la troisième année (2018-2019). Consulté en février 2020 sur le site <<https://fcm.ca/fr/ressources/mic/revue-de-lannee-du-programme-municipalites-pour-linnovation-climatique>>
- FCM et ECC [Fédération canadienne des municipalités et Environnement et Changement climatique Canada] (2019). « Landscape assessment and needs analysis in support of integrating climate data into municipal planning, analysis and decision making ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://icleicanada.org/project/landscape-assessment-needs-analysis-in-support-of-integrating-climate-data-into-municipal-planning-analysis-decision-making/>>
- Feltmate, B., Evans, C. et Moudrak, N. (2017). « Disaster risk reduction applied to Canadian residential housing: Interim report on the Home Flood Protection Program ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2017/12/HFPP-Interim-Report-Dec-2017-FINAL.pdf>>
- Field, C. B. (2018). « Smart adaptation in an era of rising climate risks ». *Bulletin of the Atomic Scientists*, 74(2), 73-80. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/00963402.2018.1436806>>
- Flanagan, R. (2018). « Toronto beats temperature record as students swelter in schools without AC ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ctvnews.ca/canada/toronto-beats-temperature-record-as-students-swelter-in-schools-without-ac-1.4081007>>
- Ford, J. D. (2009). « Vulnerability of Inuit food systems to food insecurity as a consequence of climate change: A case study from Igloolik, Nunavut ». *Regional Environmental Change*, 9(2), 83-100. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-008-0060-x>>
- Ford, J. D. (2012). « Indigenous health and climate change ». *American Journal of Public Health*, 102(7), 1260-1266. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2105/AJPH.2012.300752>>
- Ford, J. D. et King, D. (2015). « A framework for examining adaptation readiness ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(4), 505-526. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-013-9505-8>>
- Ford, J. D., Berrang-Ford, L., Biesbroek, R., Araos, M., Austin, S. E. et Lesnikowski, A. (2015). « Adaptation tracking for a post-2015 climate agreement ». *Nature Climate Change*, 5(11), 967-969. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2744>>
- Ford, J. D., Tilleard, S. E., Berrang-Ford, L., Araos, M., Biesbroek, R., Lesnikowski, A. C., MacDonald, G. K., Hsu, A., Chen, C. et Bizikova, L. (2016). « Opinion: Big data has big potential for applications to climate change adaptation ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39), 10729-10732. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1614023113>>
- Foster, J., Lowe, A. et Winkelmann, S. (2011). « The value of green infrastructure for urban climate adaptation ». Consulté en février 2020 sur le site <http://ccap.org/assets/The-Value-of-Green-Infrastructure-for-Urban-Climate-Adaptation_CCAP-Feb-2011.pdf>
- Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M. J., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., Walsh, C., Noble, K., van Wyk, E., Ordóñez, C., Oke, C. et Pintér, L. (2019). « Nature-based solutions for urban climate change adaptation: Linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making ». *BioScience*, 69(6), 455-466. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/biosci/biz042>>
- Fraser Basin Council (2018). « Phase 2 flood strategy overview ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.fraserbasin.bc.ca/Phase_2_Flood_Strategy_Overview.html>
- Friedland, J., Cheng, H. et Peleshok, A. (2014). Le risque de dommages causés par l'eau et la tarification de l'assurance des biens au Canada. Institut canadien des actuaires. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.cia-ica.ca/docs/default-source/2014/214020f.pdf>>
- Gasper, R., Blohm, A. et Ruth, M. (2011). « Social and economic impacts of climate change on the urban environment ». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 150-157. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.009>>
- Gaur, A., Gaur, A., Yamazaki, D. et Simonovic, S. P. (2019). « Flooding related consequences of climate change on Canadian cities and flow regulation infrastructure ». *Water (Switzerland)*, 11(1). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/w11010063>>
- Geneletti, D. et Zardo, L. (2016). « Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urban climate adaptation plans ». *Land Use Policy*, 50, 38-47. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.003>>

GERARCC [Groupe d'experts sur les résultats de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques] (2018). Mesure des progrès en matière d'adaptation et de résilience climatique : recommandations à l'intention du gouvernement du Canada. Sa Majesté la Reine du chef du Canada. Consulté en mai 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En4-329-2018-fra.pdf>

Gibberd, J. (2015). « Assessing and intervening: Urban resilience indicators ». Consulté en février 2020 sur le site <http://www.academia.edu/download/31828862/Urban_Resilience_Version_E.pdf>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2018). Résumé à l'intention des décideurs, dans *Réchauffement planétaire de 1,5 °C*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, T. A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, et T. Waterfield (éd.), Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf>

Gifford, E. et Gifford, R. (2016). « The largely unacknowledged impact of climate change on mental health ». *Bulletin of the Atomic Scientists*, 72(5), 292-297. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/00963402.2016.1216505>>

Giordano, F., Capriolo, A. et Mascolo, R. A. (2014). « Planning for adaptation to climate change: Guidelines for municipalities ». *Adapting to Climate Change in Time*. Consulté en février 2020 sur le site <<https://base-adaptation.eu/sites/default/files/306-guidelinesversionefinale20.pdf>>

Gomez, J. A. et Anjos, M. F. (2017). « Power capacity profile estimation for building heating and cooling in demand-side management ». *Applied Energy*, 191, 492-501. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.064>>

Gonzalez, R., James, T. et Ross, J. (2017). « Community-driven climate resilience: A framework ». Consulté en février 2020 sur le site <http://movementstrategy.org/b/wp-content/uploads/2017/05/WEB-CD-CRP_Updated-5.11.17.pdf>

Gouvernement de l'Ontario (2019). Plan de croissance de la région élargie du Golden Horseshoe. Toronto, Ontario. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ontario.ca/fr/page/plan-de-croissance-de-la-region-elargie-du-golden-horseshoe-2019-decret-6412019>>

Gouvernement du Canada (2011). Mesures visant la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain dans Rosemont-La Petite-Patrie. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/mun/pdf/13-0616-Rosemont%20Case%20Study_f.pdf>

Gouvernement du Canada (2016). Groupe de travail sur l'adaptation et la résilience climatique. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/cc/content/6/4/7/64778dd5-e2d9-4930-be59-d6db7db5cbc0/wg_report_acr_f_v5.pdf>

Graham, A. et Mitchell, C. L. (2016). « The role of boundary organizations in climate change adaptation from the perspective of municipal practitioners ». *Climatic Change*, 129, 381-395. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1799-6>>

Grannis, J. (2016). « Rebuilding with resilience: Lessons from the Rebuild by Design competition after Hurricane Sandy ». *Rebuild by Design*. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.rebuildbydesign.org/data/files/504.pdf>>

Groulx, M., Brisbois, M. C., Lemieux, C. J., Winegardner, A. et Fishback, L. A. (2017). « A role for nature-based citizen science in promoting individual and collective climate change action? A systematic review of learning outcomes ». *Science Communication*, 39(1), 45-76. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/1075547016688324>>

Guilbault, S., Kovacs, P. et Berry, P. (2016). « Cities adapt to extreme heat: Celebrating local leadership ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.iclr.org/images/Cities_Adapt_to_Extreme_Heat_online_compressed.pdf>

Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Hilario Nascimento Saldiva, P., Lavigne, E., Tawatsupa, B., Punnasiri, K., Overcenco, A., Matus Correa, P., Valdes Ortega, N., Kan, H., Osorio, S., Jaakkola, J. J. K., Rytö, N. R. I., Goodman, P. G., Zeka, A., Michelozzi, P., Scortichini, M., Hashizume, M., Honda, Y., Seposo, X., Kim, H., Tobias, A., Iñiguez, C., Forsberg, B., Oudin Åström, D., Guo, Y. L., Chen, B.-Y., Zanobetti, A., Schwartz, J., Dang, T. N., Do Van, D., Bell, M. L., Armstrong, B., Ebi, K. L. et Tong, S. (2018). « Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study ». *PLoS Medicine*, 15(7), 1-17. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>>

Guyadeen, D., Thistlethwaite, J. et Henstra, D. (2019). « Evaluating the quality of municipal climate change plans in Canada ». *Climatic Change*, 152, 1-23. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2312-1>>

Hallegatte, S. et Corfee-Morlot, J. (2011). « Understanding climate change impacts, vulnerability and adaptation at city scale: An introduction ». *Climatic Change*, 104(1), 1-12. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-010-9981-8>>

Hamin, E. M., Gurran, N. et Emlinger, A. M. (2014). « Barriers to municipal climate adaptation: Examples from coastal Massachusetts smaller cities and towns ». *Journal of the American Planning Association*, 80(2), 110-122. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/01944363.2014.949590>>

- Hammill, A. et Dekens, J. (2014). « Monitoring and evaluating adaptation at aggregated levels: A comparative analysis of ten systems ». *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) and IISD*. Consulté sur le site <https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=163>
- Haney, T. J. (2018). « Paradise found? The emergence of social capital, place attachment, and civic engagement after disaster ». *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 36(2), 97-119. Consulté en février 2020 sur le site <http://www.timhaneyphd.com/uploads/1/2/8/3/12836355/haney_2018_paradise_found_.pdf>
- Henstra, D. (2017). « Climate adaptation in Canada: Governing a complex policy regime ». *Review of Policy Research*, 34(3), 378-399. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/ropr.12236>>
- Henstra, D., Thistlethwaite, J., Brown, C. et Scott, D. (2018). « Flood risk management and shared responsibility: Exploring Canadian public attitudes and expectations ». *Journal of Flood Risk Management*. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfr3.12346>>
- Howard, H. A. et Proulx, C. (éd.) (2011). « Aboriginal peoples in Canadian cities: Transformations and continuities ». Wilfred Laurier University Press, Waterloo, Ontario, 264 p.
- Hughes, S. (2015). « A meta-analysis of urban climate change adaptation planning in the U.S ». *Urban Climate*, 14, 17-29. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.003>>
- Hunt, A. et Watkiss, P. (2011). « Climate change impacts and adaptation in cities: A review of the literature ». *Climatic Change*, 104(1), 13-49. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-010-9975-6>>
- ICLEI Canada (2014). « biodiverCITIES: A handbook for municipal biodiversity planning and management ». Consulté en février 2020 sur le site <https://icleicanada.org/wp-content/uploads/2019/05/BiodiverCITIES-Handbook_Final.pdf>
- ICLEI Canada (2016). « Making strides on community adaptation in Canada ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://icleicanada.org/wp-content/uploads/2019/07/Making-Strides-on-Community-Adaptation.pdf>>
- ICLEI Canada (2018a). « City of Brampton: Public engagement through existing faith-based organization network ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://icleicanada.org/wp-content/uploads/2019/07/City-of-Brampton.pdf>>
- ICLEI Canada (2018b). « The Victoria call to action: Building resilience through thriving and inclusive communities ». Consulté en février 2020 sur le site <https://icleicanada.org/wp-content/uploads/2019/11/Call-to-Action_Final.pdf>
- ICLEI Canada (2020). « Adaptation changemakers ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://icleicanada.org/project/climate-change-adaptation-changemakers/>>
- ICU [Institut canadien des urbanistes] (2018). Énoncé de politique sur la planification en matière de changements climatiques. Consulté en février 2020 sur le site <<http://cip-icu.ca/Files/Policy-2018/policy-climate-fr-FINAL.aspx>>
- ICU [Institut canadien des urbanistes] (2019). Points de vue sur les changements climatiques: rapport sur le sondage de référence de 2019 de l'institut canadien des urbanistes. Consulté en février 2020 sur le site <http://cip-icu.ca/Files/CIP-GENERATION-Conference/Climatechange_survey_2019_final_FR_FINAL-v5.aspx>
- Infrastructure Canada (2019). Optique des changements climatiques - Lignes directrices générales. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>>
- Ishaq, S., Hewage, K., Farooq, S. et Sadiq, R. (2019). « State of provincial regulations and guidelines to promote low impact development (LID) alternatives across Canada: Content analysis and comparative assessment ». *Journal of Environmental Management*, 235, 389-402. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.074>>
- Jacob, K., Blake, R., Horton, R., Bader, D. et Grady, M. O. (2010). « New York City panel on climate change 2010 report, Chapter 7: Indicators and monitoring ». *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1196, 127-141. Consulté en février 2020 sur le site <<https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1749-6632.2009.05321.x>>
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J. et Bonn, A. (Eds.) (2017). « Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice ». *Theory and practice of urban sustainability transitions*, Springer Open, 342 p.
- Kardan, O., Gozdyra, P., Misic, B., Moola, F., Palmer, L. J., Paus, T. et Berman, M. G. (2015). « Neighborhood greenspace and health in a large urban center ». *Scientific Reports*, 5, 1-14. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/srep11610>>
- Keam, H. et Murray, S. (2018). « Strengthening the role of faith-based organizations to support emergency preparedness ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://cdn2.hubspot.net/hubfs/316071/Resources/Case-Studies/Emergency-Preparedness-casestudy-final-November-2018.pdf>>
- Kenton, W. (2014). « How social resilience can save your city ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.100resilientcities.org/how-social-resilience-can-save-your-city/>>
- Kesik, T. et O'Brien, L. (2017). « Enhancing the liveability and resilience of multi-unit residential buildings (MURBs) ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.daniels.utoronto.ca/faculty/kesik_t/MURB-Design-Guide/MURB-Design-Guide-v1.0-Jan2017.pdf>

- Kesik, T., O'Brien, L. et Peters, T. (2019). « Enhancing the liveability and resilience of multi-unit residential buildings (MURBs) (v2) ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.daniels.utoronto.ca/faculty/kesik_t/MURB-Design-Guide/MURB-Design-Guide-v2-Feb2019.pdf>
- Kimmerer, R. (2011). « Restoration and reciprocity: The contributions of traditional ecological knowledge », dans *Human Dimensions of Ecological Restoration*, D. Egan, E. E. Hjerpe, et J. Abrams (éd.). Island Press, Washington, DC, 277-298.
- Kovacs, P. (2018). « Development permits: An emerging policy instrument for local governments to manage interface fire risk in a changing climate ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2018/05/Development-Permits_2018.pdf>
- Kovacs, P., Guilbault, S. et Sandink, D. (2014). « Cities adapt to extreme rainfall: Celebrating local leadership ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/CITIES_ADAPT_DIGITAL_VERSION_compressed.pdf>
- Kovacs, P., Guilbault, S., Darwish, L. et Comella, M. (2018). « Cities adapt to extreme weather ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2018/12/Cities-Adapt-Website.pdf>>
- Kwasinski, A. (2016). « Realistic assessment of building power supply resilience for information and communications technologies systems ». 2016 IEEE Conférence internationale sur l'énergie des télécommunications (INTELEC). Consulté en février 2020 sur le site <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6374525?denied=>>
- Kwok, A. H., Doyle, E. E. H., Becker, J., Johnston, D. et Paton, D. (2016). « What is 'social resilience'? Perspectives of disaster researchers, emergency management practitioners, and policymakers in New Zealand ». *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 197-211. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.013>>
- Leagnavar, P., Bours, D. et McGinn, C. (2015). « Good practice study on principles for indicator development, selection, and use in climate change adaptation monitoring and evaluation ». *Climate-Eval Community of Practice*. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/297234569_Good_Practice_Study_on_Principles_for_Indicator_Development_Selection_and_Use_in_Climate_Change_Adaptation_Monitoring_and_Evaluation>
- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2017). Analyse des impacts des vagues régionales de chaleur extrême sur la santé au Québec de 2010 à 2015: changements climatiques. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2221_impacts_vagues_chaleur_extreme_sante.pdf>
- Li, C., Zwiers, F., Zhang, X. et Li, G. (2019). « How much information is required to well constrain local estimates of future precipitation extremes? » *Earth's Future*, 7(1), 11-24. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2018EF001001>>
- Loftus, A-C. (2011). « Adapting urban water systems to climate change: A handbook for decision makers at the local level ». Consulté en février 2020 sur le site <http://ccsl.iccip.net/SWITCH_Adaption-Handbook_final_small.pdf>
- Lovell, S. T. et Johnston, D. M. (2009). « Creating multifunctional landscapes: How can the field of ecology inform the design of the landscape? » *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(4), 212-220. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/070178>>
- Lovell, S. T. et Taylor, J. R. (2013). « Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States ». *Landscape Ecology*, 28(8), 1447-1463. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10980-013-9912-y>>
- Lower Mainland Facilities Management (2018). « Moving towards climate resilient health facilities for Vancouver Coastal Health ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.egbc.ca/getmedia/10a2c62e-2815-40f5-830e-e844441c5add/VCH-ClimateReport-Appendices-Final-181025.pdf.aspx>>
- Mahmoud, H. et Chulahwat, A. (2018). « Unraveling the complexity of wildland urban interface fires ». *Scientific Reports*, 8(1), 1-12. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-27215-5>>
- Marshall, N. A., Park, S. E., Adger, W. N., Brown, K. et Howden, S. M. (2012). « Transformational capacity and the influence of place and identity ». *Environmental Research Letters*, 7(3). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034022>>
- Masterson, V. A., Stedman, R. C., Enqvist, J., Tengö, M., Giusti, M., Wahl, D. et Svedin, U. (2017). « The contribution of sense of place to social-ecological systems research: A review and research agenda ». *Ecology and Society*, 22(1). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-08872-220149>>
- Maxwell, K., Julius, S., Grambsch, A., Kosmal, A., Larson, L. et Sonti, N. (2018). « Built environment, urban systems, and cities », dans *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment, Volume II*, D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, et B. C. Stewart (éd.). Global Change Research Program, Washington, DC, 438-478. Consulté en février 2020 sur le site <https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_Ch11_Built-Environment_Full.pdf>

- McCullough, S. (2018). « Building a climate-resilient city: Economics and finance ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://prairieclimatecentre.ca/wp-content/uploads/2017/04/pcc-brief-climate-resilient-city-economics-finance.pdf>>
- McDonald, R. I., Chai, H. Y. et Newell, B. R. (2015). « Personal experience and the “psychological distance” of climate change: An integrative review ». *Journal of Environmental Psychology*, 44, 109-118. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.10.003>>
- McDonald, R., Kroeger, T., Boucher, T., Longzhu, W. et Salem, R. (2016). « Planting healthy air: A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/20160825_PHA_Report_Final.pdf>
- McGregor, D. (2005). « Traditional ecological knowledge: An Anishnabe woman's perspective ». *Atlantis: Critical Studies in Gender, Culture and Social Justice*, 29(2), 103-109. Consulté en février 2020 sur le site <<http://journals.msvu.ca/index.php/atlantis/article/view/1057>>
- McGregor, D. (2013). « Anishnabe environmental knowledge », dans *Contemporary studies in environmental and Indigenous pedagogies*, A. Kulnieks, D. Longboat, et K. Young (éd.). Sense Publishers, Rotterdam, 77-88.
- McGregor, D. (2014). « Traditional knowledge and water governance: The ethic of responsibility ». *AlterNative*, 10(5), 493-507. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/117718011401000505>>
- McMillan, T., Causley, D., Hanna, K., Lulham, N., Seasons, M. et Boddy, S. (2019). « Local adaptation in Canada: Survey report ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://ok-cear.sites.olt.ubc.ca/files/2019/06/Local-Adaptation-in-Canada-Full-web-1.pdf>>
- Meckbach, G. (2018). « Where Canada sits with overland flood insurance ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.canadianunderwriter.ca/insurance/canada-sits-overland-flood-insurance-1004132703/>>
- Meerow, S. et Newell, J. P. (2017). « Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit ». *Landscape and Urban Planning*, 159, 62-75. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>>
- Meerow, S. et Stults, M. (2016). « Comparing conceptualizations of urban climate resilience in theory and practice ». *Sustainability (Switzerland)*, 8(7), 1-16. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su8070701>>
- Meerow, S., Newell, J. P. et Stults, M. (2016). « Defining urban resilience: A review ». *Landscape and Urban Planning*, 147, 38-49. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>>
- Mees, H. (2017). « Local governments in the driving seat? A comparative analysis of public and private responsibilities for adaptation to climate change in European and North-American cities ». *Journal of Environmental Policy and Planning*, 19(4), 374-390. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/01523908X.2016.1223540>>
- Mees, H. et Driessen, P. (2011). « Adaptation to climate change in urban areas: Climate-greening London, Rotterdam, and Toronto ». *Climate Law*, 2(2), 251-280. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3233/CL-2011-036>>
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P. et Stouffer, R. J. (2008). « Stationarity is dead: Whither water management? » *Science*, 319(5863), 573-574. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1151915>>
- Mimura, N., Pulwarty, R. S., Duc, D. M., Elshinnawy, I., Redsteer, M. H., Huang, H. Q., Nkem, J. N. et Rodriguez, R. A. S. (2014). « Adaptation planning and implementation », dans *Changements climatiques 2014 – Conséquences, adaptation, et vulnérabilité, Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels (Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC)*, C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, et L. L. White (éd.). Cambridge University Press, New York, New York, 869-898. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap15_FINAL.pdf>
- Moghal, Z., Dunford, E. et Romanick, G. (2017). « Review of municipal climate change adaptation within Canada: Implications for the City of Cambridge ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.cambridge.ca/en/resources/rpt_cambridge_climate_adapt_plan_20190823_access.pdf>
- Molnar, M., Sahl, J., Thompson, M., Borggard, J., Lawrence, R., Fournier, D., Stewart, D., Shkurhan, G. et Reid, T. (2018). « Municipal natural assets initiative: City of Nanaimo, BC ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://davidsuzuki.org/wp-content/uploads/2018/07/municipal-natural-assets-initiative-nanaimo-b-c.pdf>>
- Moser, S. C. (2014). « Communicating adaptation to climate change: The art and science of public engagement when climate change comes home ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 337-358. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.276>>
- Moser, S. C. et Boykoff, M. (2013). « Climate change and adaptation success », dans *Successful adaptation to climate change: Linking science and policy in a changing world*, S. Moser et M. Boykoff (éd.). Routledge, New York, New York, 1-34.

- Moser, S. C., Coffee, J. et Seville, A. (2017). « Rising to the challenge, together: A review and critical assessment of the state of the US climate adaptation field ». Consulté en février 2020 sur le site <https://kresge.org/sites/default/files/library/rising_to_the_challenge_together_linked_0.pdf>
- Moser, S. et Boykoff, M. (Eds.). (2013). « Successful adaptation to climate change: Linking science and policy in a changing world ». Routledge, New York, New York, 323 p.
- Moudrak, N. et Feltmate, B. (2017). Prévenir les catastrophes avant qu'elles ne surviennent : élaborer une norme canadienne pour rendre les nouvelles zones résidentielles résilientes face aux inondations. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2017/11/Preventing-Disaster-Before-It-Strikes_FR_Final-2017.pdf>
- Moudrak, N. et Feltmate, B. (2019). « Weathering the storm: Developing a Canadian standard for flood-resilient existing communities ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.preventionweb.net/files/63170_weatheringthestorm.pdf>
- Municipal Natural Assets Initiative (2017). « Primer on natural asset management ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://mnai.ca/media/2018/11/FCMPPrimer-updated.pdf>>
- Municipalité régionale d'Halifax (2014). « Regional municipal planning strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.halifax.ca/sites/default/files/documents/about-the-city/regional-community-planning/RegionalMunicipalPlanningStrategy-03Nov2018-Case21331.pdf>>
- NASA Earth Observatory (2006). « The Making (and Breaking) of an Urban Heat Island ». Consulté en mai 2020 sur le site <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GreenRoof/greenroof2.php>>
- National Municipal Adaptation Project (2014). « Canada: Results from the national municipal adaptation survey ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.preventionweb.net/files/36374_nmapfscanadajan20141.pdf>
- Nenshi, N. (2018). « Together, we are continuously rebuilding and re-imagining Calgary ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.100resilientcities.org/together-we-are-continuously-rebuilding-and-re-imagining-calgary/>>
- Newman, G., Chandler, M., Clyde, M., McGreavy, B., Haklay, M., Ballard, H., Gray, S., Scarpino, R., Hauptfeld, R., Mellor, D. et Gallo, J. (2016). « Leveraging the power of place in citizen science for effective conservation decision making ». *Biological Conservation*, 208, 55-64. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.019>>
- Nichol, E. et Harford, D. (2016). « Low carbon resilience: Transformative climate change planning for Canada ». Consulté en février 2020 sur le site <https://act-adapt.org/wp-content/uploads/2016/06/low_carbon_resilience.pdf>
- Nicolosi, E. et Corbett, J. B. (2018). « Engagement with climate change and the environment: a review of the role of relationships to place ». *Local Environment*, 23(1), 77-99. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13549839.2017.1385002>>
- Nordgren, J., Stults, M. et Meerow, S. (2016). « Supporting local climate change adaptation: Where we are and where we need to go ». *Environmental Science and Policy*, 66, 344-352. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.006>>
- O'Neil, S. J. et Cairns, S. (2017). « Defining and scoping municipal natural assets ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://mnai.ca/media/2018/02/finaldesignedsept18mnai.pdf>>
- Ortiz, G., Schultheis, H., Novack, V. et Holt, A. (2019). « A perfect storm: Extreme weather as an affordable housing crisis multiplier ». Centre for American Progress. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.americanprogress.org/issues/green/reports/2019/08/01/473067/a-perfect-storm-2/>>
- Osseyrane, M. et Kamal, A. (2013). Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques des réseaux d'évacuation des eaux de surface dans le secteur de Trois-Rivières-Centre. Consulté en février 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/551009-module_2_rf_analyse_vulnerabilite_v3r_-_eau_potable_2013-05.pdf>
- Oulahen, G. (2015). « Flood insurance in Canada: Implications for flood management and residential vulnerability to flood hazards ». *Environmental Management*, 55(3), 603-615. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00267-014-0416-6>>
- Ouranos (2017). Projet en cours : Performance des infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/FicheDagenaisDorner2017_FR.pdf>
- Pacific Water Research Centre (2020). « Engaging the community to build flood resistant rain gardens ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.sfu.ca/pwrc/research-and-projects/rain-gardens.html>>
- Pahl, S., Sheppard, S., Boomsma, C. et Groves, C. (2014). « Perceptions of time in relation to climate change ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 375-388. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.272>>
- Palko, K. et Lemmen, D. S. (éd.) (2016). Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/ClimatRisk-F-ACCESSIBLE.pdf>>

- Parcs Canada (2014). Parc urbain national de la Rouge. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/on/rouge/info/gestion-management/gestion-management-2019>>
- Paterson, S. K., Pelling, M., Nunes, L. H., de Araújo Moreira, F., Guida, K. et Marengo, J. A. (2017). « Size does matter: City scale and the asymmetries of climate change adaptation in three coastal towns ». *Geoforum*, 81, 109-119. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.02.014>>
- Patrick, R. J. (2013). « Indigenous source water protection: Lessons for watershed planning in Canada », dans *Reclaiming Indigenous planning*, W. R., T. Jojola et D. Natcher (éd.). McGill-Queen's University Press, Montréal, Québec, 376-395.
- Peters, E. J. (2004). Trois mythes concernant les Autochtones des villes. Fédération des sciences humaines. Ottawa, Ontario.
- Peters, E. J. (2007). « Urban reserves ». Rapport de recherche pour le Centre national pour la gouvernance des premières nations. Consulté en février 2020 sur le site <http://www.fngovernance.org/ncfng_research/e_peters.pdf>
- Peters, E. J. (2011). « Aboriginal public policy in urban areas: An introduction », dans *Urban Aboriginal policy making in Canadian municipalities*, E. J. Peters (éd.). McGill-Queen's University Press., Montréal, Québec, 3-32.
- Peters, E. J. et Robillard, V. (2009). « "Everything you want is there": The place of the Reserve in First Nations' homeless mobility ». *Urban Geography*, 30(6), 652-680. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2747/0272-3638.30.6.652>>
- Peters, E. J., Stock, M. et Werner, A. (2018). « Rooster town: The history of an urban Métis community, 1901-1961 ». University of Manitoba Press, Winnipeg, 248 p.
- Picketts, I. M. (2015). « Practitioners, priorities, plans, and policies: Assessing climate change adaptation actions in a Canadian community ». *Sustainability Science*, 10(3), 503-513. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11625-014-0271-7>>
- Pierce, D. (2017). « RELI resilience action list and credit catalog (Pilot version 1.2.1) ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://online.anyflip.com/zyqc/ojoi/mobile/index.html#p=1>>
- Polanyi, M., Wilson, B., Mustachi, J. et Kerr, M. (2017). « Unequal city: The hidden divide among Toronto's children and youth ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://d3n8a8pro7vymx.cloudfront.net/socialplanningtoronto/pages/1779/attachments/original/1522073852/CAST-2017-report-v13-web.pdf?1522073852>>
- POLIS Project on Ecological Governance et Centre autochtone de ressources environnementales (2019). « Strengthening decision-making and collaboration for healthy watersheds ». Consulté en février 2020 sur le site <https://poliswaterproject.org/files/2019/04/A-Handbook-for-Water-Champions_web_final.pdf>
- Porten, S. von der, de Loë, R. et McGregor, D. (2016). « Incorporating Indigenous knowledge systems into collaborative governance for water: Challenges and opportunities ». *Journal of Canadian Studies*, 50(1), 214-243. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3138/jcs.2016.50.1.214>>
- Pringle, P. (2011). « AdaptME toolkit: Adaptation monitoring and evaluation ». Consulté en février 2020 sur le site <www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/UKCIP-AdaptME.pdf>
- Radio-Canada (2016). « Lake St. Martin evacuee blames Winnipeg for suicides, addictions, depression ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/manitoba/lake-st-martin-first-nation-lillian-catcheway-winnipeg-1.3589066>>
- RAIN Community Solutions (2020). À propos de RAIN (PLUIE). Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.raincommunitysolutions.ca/fr/a-propos/>>
- Région métropolitaine de Vancouver (2014). « 2011 population density and the Metro 2040 growth model ». Consulté en février 2020 sur le site <http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/140509_RPA_Density_and_Urban_Growth.pdf>
- Région métropolitaine de Vancouver (2018). « Metro Vancouver Growth Projections – A Backgrounder ». Consulté en mai 2020 sur le site <<http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/OverviewofMetroVancouverMethodsInProjectingRegionalGrowth.pdf>>
- ResiliencebyDesign Research Innovation Lab (2017). « Step up ». Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.youtube.com/watch?v=bQg42VCZegk>>
- Resilient-C Research Team (2020). « Platform to promote coastal risk resilience: Helping build community resilience to coastal hazards ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://resilient-c.ubc.ca/>>
- Revi, A., Satterthwaite, D. E., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R., Pelling, M., Roberts, D. C. et Solecki, W. (2014). « Urban areas », Chapitre 8 dans *Changements climatiques 2014 – Conséquences, adaptation, et vulnérabilité, Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels (Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC)*, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, et L.L. White (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 535-612. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap8_FINAL.pdf>

- Risk Sciences International (2018). « PIEVC assessment of three city parks ». Consulté en février 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/final_mississauga_parks_pievc_report_july_4_2018.pdf>
- Rivard, G., Lorrain, K., Pellegrino, M., Bédard, L.-M. et Sormain, E. (2013). Analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques du réseau d'approvisionnement en eau potable de la Ville de Trois-Rivières. Ouranos. Consulté en février 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/551009-module_2_rf_analyse_vulnerabilite_v3r_-_eau_potable_2013-05.pdf>
- RNCan [Ressources naturelles Canada] (2016). Vulnérabilité. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts-adaptation/rapports/evaluations/2008/synthese/10422?_ga=2.41991077.1877638876.1595343708-1257561984.1592579082>
- RNCan [Ressources naturelles Canada] (2018). « Case studies on climate change in floodplain mapping, volume 1 ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://geoscan.rncan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulleweb&search1=R=306436>>
- Rosenzweig, C. et Solecki, W. (2018). « Action pathways for transforming cities ». *Nature Climate Change*, 8(9), 754-761. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0264-0>>
- Sandink, D. (2013a). « Retrofitting homes to reduce basement flood risk: Lessons learned ». *Municipal World magazine*, 13-15. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/retrofitting-homes-to-reduce-basement-flood-risk-lessons-learned-municipal-world.pdf>>
- Sandink, D. (2013b). « Urban flooding in Canada: Lot-side risk reduction through voluntary retrofit programs, code interpretation and by-laws ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques. Consulté en février 2020 sur le site <http://0361572.netsolhost.com/images/Urban_Flooding_in_Canada_-_ICLR_-_2013.pdf>
- Sandink, D. (2016). « Urban flooding and ground-related homes in Canada: an overview ». *Journal of Flood Risk Management*, 9(3), 208-223. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfr3.12168>>
- Sandink, D., Kovacs, P., Oulahan, G. et McGillivray, G. (2010). « Making flood insurable for Canadian homeowners: A discussion paper ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques et Swiss Reinsurance Company Ltd. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.iclr.org/images/Making_Flood_Insurable_for_Canada.pdf>
- Santé Montréal (2018). Canicule : Juillet 2018 – Montréal bilan préliminaire. Consulté en février 2020 sur le site <https://santemontreal.qc.ca/fileadmin/fichiers/actualites/2018/07_juillet/BilanCanicule2018VF.pdf>
- Satzewich, J. et Straker, D. (2019). « Background report: Biodiversity-led green infrastructure in a changing climate ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2019/08/BiodiversityLedGreenInfrastructure.pdf>>
- Seto, K. C. et Shepherd, J. M. (2009). « Global urban land-use trends and climate impacts ». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 89-95. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.012>>
- Shao, W., Xian, S., Lin, N., Kunreuther, H., Jackson, N. et Goidel, K. (2017). « Understanding the effects of past flood events and perceived and estimated flood risks on individuals' voluntary flood insurance purchase behavior ». *Water Research*, 108, 391-400. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.021>>
- Sharifi, A. (2016). « A critical review of selected tools for assessing community resilience ». *Ecological Indicators*, 69, 629-647. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.023>>
- Shaw, A., Tolsma, K. et Hardford, D. (2019). « Partner community profiles ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2019/11/ICABCCI-Profiles.pdf>>
- Shi, L., Chu, E., Anguelovski, I., Aylett, A., Debats, J., Goh, K., Schenk, T., Seto, K.C., Dodman, D., Roberts, D., Roberts, J.T. et VanDeveer, S.D. (2016). « Roadmap towards justice in urban climate adaptation research ». *Nature Climate Change*, 6(2), 131-137. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2841>>
- Simonovic, S. P., Schardong, A., Gaur, A. et Sandink, D. (2018). « IDF_CC Tool 4.0 ». Facility for Intelligent Decision Support (FIDS), Western University. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.idf-cc-uwo.ca/>>
- Simonovic, S. P., Schardong, A., Sandink, D. et Srivastav, R. (2016). « A web-based tool for the development of Intensity Duration Frequency curves under changing climate ». *Environmental Modelling and Software*, 81, 136-153. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.016>>
- Smith, A. L., Hewitt, N., Klenk, N., Bazely, D. R., Yan, N., Wood, S., Henriques, I., MacLellan, J. I. et Lipsig-Mummé, C. (2012). « Effects of climate change on the distribution of invasive alien species in Canada: A knowledge synthesis of range change projections in a warming world ». *Environmental Reviews*, 20(1), 1-16. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/a11-020>>
- SNC-Lavalin Environnement (2013). Ville de Trois-Rivières : Plan d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en février 2020 sur le site <https://glslicities.org/wp-content/uploads/2015/07/3riv-Plan_d_adaptationCC.pdf>

- Snyder, M. et Wilson, K. (2012). « Urban Aboriginal mobility in Canada: Examining the association with health care utilization ». *Social Science and Medicine*, 75(12), 2420-2424. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.09.020>>
- Solecki, W. et Marcotullio, P. J. (2013). « Climate change and urban biodiversity vulnerability », dans *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities*, T. Elmqvist, M. Fragkias, J. Goodness, B. Güneralp, P. J. Marcotullio, R. I. McDonald, S. Parnell, M. Schewenius, M. Sendstad, K.C. Seto, et C. Wilkinson (éd.). Springer, New York, 485-504. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1>>
- Sörensen, J., Persson, A., Sternudd, C., Aspegren, H., Nilsson, J., Nordström, J., Jönsson, K., Mottaghi, M., Becker, P., Pilesjö, P., Larsson, R., Berndtsson, R. et Mobini, S. (2016). « Re-thinking urban flood management-time for a regime shift ». *Water (Switzerland)*, 8(8), 1-15. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/w8080332>>
- SPC [Sécurité publique Canada] (2020). Infrastructures essentielles. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/ntnl-scrtr/crtcl-nfrstrctr/index-fr.aspx>>
- Spears, T. (2017). « An inconvenient Ottawa? What will climate change actually mean for the nation's capital? » Consulté en février 2020 sur le site <<https://ottawacitizen.com/news/local-news/an-inconvenient-ottawa-what-will-climate-change-actually-mean-for-the-nations-capital/>>
- Statistique Canada (2017a). Recensement de 2016 : 150 ans d'urbanisation au Canada. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.statcan.gc.ca/fra/rb/video/recensement2016_150ansdurbanisation>
- Statistique Canada (2017b). Les peuples autochtones au Canada : faits saillants du Recensement de 2016. Consulté en février 2020 sur le site <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/daily-quotidien/171025/dq171025a-fra.pdf?st=1_IDpdtD>
- Statistique Canada (2017c). Série « Perspective géographique », Recensement de 2016. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/as-sa/fogs-spg/Index-fra.cfm>>
- Statistique Canada (2017d). Les municipalités au Canada ayant connu une décroissance de la population entre 2011 et 2016. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/as-sa/98-200-x/2016002/98-200-x2016002-fra.cfm>>
- Statistique Canada (2017e). Centre de population (CTRPOP). Consulté en février 2020 sur le site <<https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/ref/dict/geo049a-fra.cfm>>
- Statistique Canada (2018). Les peuples autochtones au Canada : Premières Nations, Métis et Inuits. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/as-sa/99-011-x/99-011-x2011001-fra.cfm>>
- Stewardship Partners and Washington State University Extension (2019). « 12,000 rain gardens in Puget Sound ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.12000raingardens.org/>>
- Summers, J. K., Smith, L. M., Case, J. L. et Linthurst, R. A. (2012). « A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services ». *AMBIO*, 41(4), 327-340. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13280-012-0256-7>>
- Temmer, J. et Venema, H. (2018). « Building a climate-resilient city: Transportation infrastructure ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://prairieclimatecentre.ca/wp-content/uploads/2017/04/pcc-brief-climate-resilient-city-transportation-infrastructure.pdf>>
- Terton, A. (2017). « Building a climate-resilient city: Urban ecosystems ». IISD et University of Winnipeg. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/pcc-brief-climate-resilient-city-urban-ecosystems.pdf>>
- The Globe and Mail (2017). « Settlement reached for 4,000 Manitoba First Nations flood evacuees ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.theglobeandmail.com/news/national/settlement-reached-for-4000-manitoba-first-nations-flood-evacuees/article35334088/>>
- The Nature Conservancy (2018). « Nature in the urban century ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/TNC_NatureintheUrbanCentury_FullReport.pdf>
- Thistlethwaite, J., Henstra, D., Brown, C. et Scott, D. (2018). « How flood experience and risk perception influences protective actions and behaviours among Canadian homeowners ». *Environmental Management*, 61, 197-208. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00267-017-0969-2>>
- Thistlethwaite, J., Minano, A., Blake, J. A., Henstra, D. et Scott, D. (2018). « Application of re/insurance models to estimate increases in flood risk due to climate change ». *Geoenvironmental Disasters*, 5, 8. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s40677-018-0101-9>>
- Thompson, S., Ballard, M. et Martin, D. (2014). « Lake St. Martin First Nation community members' experiences of induced displacement: "We're like refugees." » *Refuge*, 29(2), 75-86. Consulté en février 2020 sur le site <<https://refuge.journals.yorku.ca/index.php/refuge/article/view/38168/34563>>
- Toman, M. (2014). « The need for multiple types of information to inform climate change assessment ». *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5(3), 469-485. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1515/jbca-2014-9005>>



- Toronto and Region Conservation Authority (2020). « Don Mouth Naturalization and Port Lands Flood Protection Project ». Consulté en mai 2020 sur le site <<https://trca.ca/conservation/green-infrastructure/don-mouth-naturalization-port-lands-flood-protection-project/>>
- Turner, N. J. et Clifton, H. (2009). « "It's so different today": Climate change and indigenous lifeways in British Columbia, Canada ». *Global Environmental Change*, 19(2), 180-190. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.005>>
- Urban Land Institute (2015). « Returns on resilience: The business case ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://uli.org/wp-content/uploads/ULI-Documents/Returns-on-Resilience-The-Business-Case.pdf>>
- US EPA [United States Environmental Protection Agency] (2014). « Flood resilience: A basic guide for water and wastewater utilities ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/flood-resilience_guide.pdf>
- van der Linden, S., Maibach, E. et Leiserowitz, A. (2015). « Improving public engagement with climate change: Five "best practice" insights from psychological science ». *Perspectives on Psychological Science*, 10(6), 758-763. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/1745691615598516>>
- Venema, H. et Temmer, J. (2017). « Building a climate-resilient city: The built environment ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/pcc-brief-climate-resilient-built-environment.pdf>>
- Vérificateur général du Canada (2018). Perspectives sur l'action contre les changements climatiques au Canada. Bureau du vérificateur général du Canada, Ottawa. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_otp_201803_f_42883.html>
- Villanueva, P. S. (2011). « Learning to ADAPT: Monitoring and evaluation approaches in climate change adaptation and disaster risk reduction – challenges, gaps and ways forward ». SCR Discussion Paper 9. Consulté en février 2020 sur le site <http://www.ids.ac.uk/files/dmfile/SilvaVillanueva_2012_Learning-to-ADAPTD92.pdf>
- Ville de Barrie (2017). « Storm Drainage and Stormwater Management Policies and Guidelines ». Barrie, Ontario. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.barrie.ca/City_Hall/Planning-and-Development/Engineering-Resources/Documents/City-Standards/Storm-Drainage-and-Stormwater-Management-Policies-and-Design-Guidelines.pdf>
- Ville de Barrie (2018). « Implementation plan: Climate change adaptation strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://act-adapt.org/reports/still-creek-a-case-study-of-transboundary-municipal-ecosystem-governance/>>
- Ville de Calgary (2017). « March 3, 2017 agenda-setting workshop findings ». Calgary, Alberta. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.calgary.ca/CS/Documents/ResilientCalgary/RC-Mar3-AgendaSettingWorkshopFindings.pdf>>
- Ville de Cambridge (2011). « City of Cambridge stormwater management policies and guidelines ». Cambridge, Ontario. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.cambridge.ca/en/learn-about/resources/Stormwater-Management-Policy.pdf>>
- Ville de Kitchener (2019). « Kitchener's sustainable urban forest strategy 2019-2023 ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.kitchener.ca/en/resourcesGeneral/Documents/UrbanForestStrategyFinal.pdf>>
- Ville de Montréal (2017) Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020. Montréal, Québec. Consulté en février 2020 sur le site <http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PACCAM_SYNTHESE_2015.pdf>
- Ville de Niagara Falls (2019). « Rain barrels ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://niagarafalls.ca/living/environment/rainbarrels.aspx>>
- Ville de Paradise (2016). « Town of Paradise municipal plan 2016 ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.paradise.ca/en/town-hall/resources/Municipal-Plan/Municipal-Plan-Final/Town-of-Paradise-Municipal-Plan.pdf>>
- Ville de Portland (2014). « Climate change preparation strategy: Preparing for local impacts in Portland and Multnomah County ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://beta.portland.gov/sites/default/files/2019-07/climate-change-prep-strat-press.pdf>>
- Ville de Surrey (2013). « Climate adaptation strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.surrey.ca/files/ClimateAdaptationStrategy.pdf>>
- Ville de Surrey (2018). « Coastal flood adaptation strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.surrey.ca/city-services/19888.aspx>>
- Ville de Surrey (2020). « Sustainability dashboard ». Consulté en mai 2020 sur le site <<http://dashboard.surrey.ca/>>
- Ville de Toronto (2016). « Minimum backup power guidelines for MURBs ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/91ca-Minimum-Backup-Power-Guideline-for-MURBs-October-2016.pdf>>
- Ville de Toronto (2018). « CUI placemakers: Resilient Toronto part 2 outcomes report ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.resilienttoronto.ca/5742/documents/11348>>
- Ville de Toronto (2019). « Toronto's first resilience strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.toronto.ca/ext/digital_comm/pdfs/resilience-office/toronto-resilience-strategy.pdf>

- Ville de Trois-Rivières (2018). Le grand projet de la rue Saint-Maurice. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.v3r.net/services-au-citoyen/environnement/lutte-aux-changements-climatiques/le-grand-projet-de-la-rue-saint-maurice#principales-ameliorations-suite-aux-travaux>>
- Ville de Vancouver (2012). « Climate change adaptation strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://vancouver.ca/files/cov/Vancouver-Climate-Change-Adaptation-Strategy-2012-11-07.pdf>>
- Ville de Vancouver (2015). « Healthy city strategy: Four year plan 2015-2018 ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://vancouver.ca/files/cov/Healthy-City-Strategy-Phase-2-Action-Plan-2015-2018.pdf>>
- Ville de Vancouver (2016). « Biodiversity strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://vancouver.ca/files/cov/biodiversity-strategy.pdf>>
- Ville de Vancouver (2018). « Policy report: 2018 Climate change adaptation strategy update ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://council.vancouver.ca/ctyclerk/cclerk/20181205/documents/cfsc1.pdf>>
- Ville de Vancouver (2019a). « Hey Neighbour! » Consulté en février 2020 sur le site <<https://vancouver.ca/people-programs/hey-neighbour.aspx>>
- Ville de Vancouver (2019b). « Vancouver sea level rise story map ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://vancouverbc.maps.arcgis.com/apps/StoryMapCrowdsourcing/index.html?appid=eb0a7a32e6954f77a5cd33dbb582ab20>>
- Ville de Victoriaville (2018). Habitation Durable Victoriaville. Victoriaville, Québec. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.habitationdurable.com/victoriaville/images/pdf/Grilledepointage2018.pdf>>
- Ville de Wasaga Beach (2015). « Town of Wasaga Beach engineering standards ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.wasagabeach.com/Document_Library/2015_WB_Engineering_Standards.pdf>
- Ville de Windsor (2019). « Climate resilient home ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.citywindsor.ca/residents/environment/climate-change/adaptation/climate-resilient-home/Pages/default.aspx>>
- Walker, B., Abel, N., Andreoni, F., Cape, J., Murdoch, H. et Norman, C. (2014). « General resilience: A discussion paper based on insights from a catchment management area workshop in south eastern Australia ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.resalliance.org/files/General_Resilience_paper.pdf>
- Wamsler, C. (2016). « From risk governance to city-citizen collaboration: Capitalizing on individual adaptation to climate change ». *Environmental Policy and Governance*, 26(3), 184-204. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/eet.1707>>
- Wamsler, C. (2017). « Stakeholder involvement in strategic adaptation planning: Transdisciplinarity and co-production at stake? » *Environmental Science and Policy*, 75(Février), 148-157. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.03.016>>
- Webb, R., Bai, X., Smith, M. S., Costanza, R., Griggs, D., Moglia, M., Neuman, M., Newman, P., Norman, B., Ryan, C., Schandl, H., Steffen, W., Tapper, N. et Thomson, G. (2018). « Sustainable urban systems: Co-design and framing for transformation ». *AMBIO*, 47(1), 57-77. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13280-017-0934-6>>
- Whyte, K. (2012). « Now this! Indigenous sovereignty, political obliviousness and governance models for SRM research ». *Ethics, Policy and Environment*, 15(2), 172-187. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/21550085.2012.685570>>
- Whyte, K. (2016). « Is it colonial déjà vu? Indigenous peoples and climate injustice », dans *Humanities for the Environment*, J. Adamson et M. Davis. Routledge (éd.), Londres, Royaume-Uni, 102-119.
- Whyte, K. (2017). « Indigenous climate change studies: Indigenizing futures, decolonizing the Anthropocene ». *English Language Notes*, 55(1-2), 153-162. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1215/00138282-55.1-2.153>>
- Whyte, K. (2018). « What do Indigenous knowledges do for Indigenous Peoples? », dans *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*, M. Nelson et D. Shilling (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 57-82.
- Wilson-Grau, R. (2015). « Outcome harvesting ». *Better Evaluation*. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.betterevaluation.org/en/plan/approach/outcome_harvesting>
- Wilt, J. (2016). « Indigenous Calgarians struggle to find their cultural identity ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/indigenous-first-nation-culture-1.3651039>>
- Woodruff, S. C. et Stults, M. (2016). « Numerous strategies but limited implementation guidance in US local adaptation plans ». *Nature Climate Change*, 6, 796-802. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate3012>>
- Zerbe, J. (2019). « Update: Paying for urban infrastructure adaptation in Canada ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2019/10/ACT-Update-Paying-for-Urban-Infrastructure.pdf>>



Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V. V. (2019). Les changements de température et de précipitations pour le Canada, chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 112-193. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/4-0/>>

Zimmerman, R. et Faris, C. (2010). « New York City panel on climate change 2010 report », Chapitre 4 dans *Infrastructure impacts and adaptation. Annals of the New York Academy of Sciences*, 1196, 63-85. Consulté en février 2020 sur le site <<https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1749-6632.2009.05318.x>>

Zizzo, L., Allan, T. et Kocherga, A. (2014). « Stormwater management in Ontario: Legal issues in a changing climate ». Consulté en février 2020 sur le site <https://cvc.ca/wp-content/uploads/2014/05/Stormwater-Management-in-Ontario_Legal-Issues-in-a-Changing-Climate_2014.04.29.pdf>

Zukiwsky, J., Boyd, R. et Wynn, L. R. (2016). « Town of Canmore: Climate change adaptation and resilience plan ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://canmore.ca/documents/livable-canmore/1040-town-of-canmore-climate-change-adaptation-background-report-and-resilience-plan-2016>>

Zupancic, T., Westmacott, C. et Bulthuis, M. (2015). « The impact of green space on heat and air pollution in urban communities: A meta-narrative systematic review ». David Suzuki Foundation. Consulté en février 2020 sur le site <<https://davidsuzuki.org/wp-content/uploads/2017/09/impact-green-space-heat-air-pollution-urban-communities.pdf>>



CHAPITRE 3

Collectivités rurales et éloignées

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteurs coordonnateurs principaux

Kelly Vodden, Ph. D., Institut de politique environnementale, campus Grenfell, Université Memorial

Ashlee Cunsolo, Ph. D., École d'études arctiques et subarctiques, Institut du Labrador, Université Memorial

Auteurs collaborateurs

Sherilee L. Harper, Ph. D., École de santé publique, Université de l'Alberta

Amy Kipp, Collège des sciences humaines sociales et appliquées, Université de Guelph

Nia King, École de Médecine, Université Queen's

Sean Manners, Institut de politique environnementale, campus Grenfell, Université Memorial

Brian Eddy, Ph. D., Ressources naturelles Canada

Conor Curtis, Institut de politique environnementale, campus Grenfell, Université Memorial

Stephen Hextall, Institut de politique environnementale, campus Grenfell, Université Memorial

Sarah-Patricia Breen, Ph. D., Chaire d'innovation régionale en développement économique rural, Collège Selkirk

Lauren Rethoret, Institut de développement rural du bassin du Columbia, Collège Selkirk

Citation recommandée

Vodden, K. et Cunsolo, A. (2021) : Collectivités rurales et éloignées; chapitre 3 dans *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario

Table des matières

Messages clés	114
3.1 Introduction	116
3.1.1 Régions rurales et éloignées du Canada	117
3.1.2 Approche adoptée dans l'élaboration du chapitre	119
3.2 Les changements climatiques ont des impacts sur les collectivités rurales et éloignées	121
3.2.1 Introduction	122
3.2.2 Partage des connaissances et collaboration	122
3.3 Les connaissances locales et autochtones sont essentielles pour comprendre et s'adapter aux impacts des changements climatiques	126
3.3.1 Introduction	126
3.3.2 Surveiller et consigner les impacts des changements climatiques	127
3.3.3 Accroître la capacité d'adaptation et renforcer la résilience	128
3.3.4 Soutenir des stratégies durables de réduction des risques	129
3.3.5 Éclairer la prise de décision et la politique d'adaptation adaptées au milieu	129
Étude de cas 3.1 : La Nation Saugeen Ojibway et le suivi des impacts des changements climatiques sur le corégone	130
3.4 Les changements climatiques menacent les moyens de subsistance et les économies	131
3.4.1 Introduction	131
3.4.2 Vulnérabilité et adaptation dans les secteurs des ressources naturelles	135
3.4.3 Réactions et possibilités d'adaptation	141
Étude de cas 3.2 : Programmes et partenariats gouvernementaux en Saskatchewan en soutien à l'adaptation à l'échelle des exploitations agricoles	146
3.5 Les infrastructures et services essentiels sont à risque	147
3.5.1 Introduction	148
3.5.2 Systèmes de transport et d'énergie	149
3.5.3 Variations régionales des impacts des changements climatiques sur les infrastructures	150
3.5.4 Mesures d'adaptation et possibilités	150
Étude de cas 3.3 : L'adaptation aux perturbations de transport et de service dans les collectivités vieillissantes de la Nouvelle-Écosse	154



3.6 Les changements climatiques ont un impact négatif sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités	156
3.6.1 Introduction	156
3.6.2 Disponibilité et accessibilité des sources d'eau et d'aliments nutritifs privilégiés	158
3.6.3 Maladies infectieuses et aggravation des maladies chroniques existantes	159
3.6.4 Risque accru de blessure et de mortalité	159
3.6.5 Impacts sur la santé mentale et le bien-être	160
3.6.6 Mesures d'adaptation et possibilités	160
Étude de cas 3.4 : Composer avec les impacts sanitaires des feux de forêt dans les Territoires du Nord-Ouest	163
3.7 Les changements climatiques entraînent des pertes et des dommages immatériels	164
3.7.1 Introduction	164
3.7.2 Transformation des pratiques et de l'identité culturelles liées au lieu	166
3.7.3 Changements dans le tissu social des collectivités rurales et éloignées	167
3.7.4 Pertes et dommages causés aux paysages et aux sites d'importance culturelle et sociale	168
3.7.5 Mesures d'adaptation et possibilités	169
Étude de cas 3.5 : Soutenir le bien-être, la force, la résilience et la continuité culturelle des Inuits du Nunatsiavut, au Labrador	173
3.8 La participation locale à la prise de décisions en matière d'adaptation améliore les résultats	174
3.8.1 Introduction	174
3.8.2 La nécessité d'une approche collaborative de la gouvernance	175
3.8.3 Relever les défis en matière de gouvernance	178
Étude de cas 3.6 : La co-construction et le renforcement de la capacité d'adaptation rurale	181
3.9 Aller de l'avant	182
3.9.1 Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche	182
3.9.2 Nouveaux enjeux	185
3.10 Conclusion	186
3.11 Références	193

Messages clés

Les changements climatiques ont des impacts sur les collectivités rurales et éloignées (voir la section 3.2)

Les collectivités rurales et éloignées subissent souvent les impacts des changements climatiques sur l'environnement, la société, l'économie, la culture et la santé de manière disproportionnée comparativement aux centres urbains. Malgré ces défis, les collectivités rurales et éloignées font preuve d'une grande résilience et sont souvent en première ligne des mesures d'adaptation au Canada.

Les connaissances locales et autochtones sont essentielles pour comprendre et s'adapter aux impacts des changements climatiques (voir la section 3.3)

Les résidents des collectivités rurales et éloignées ont un lien étroit avec les milieux dont ils dépendent pour leur subsistance, leur bien-être et leur mode de vie. Les systèmes de connaissances adaptées au milieu, notamment les connaissances locales et autochtones, et l'expérience vécue sont essentiels pour comprendre et s'adapter aux impacts des changements climatiques dans les collectivités et les régions rurales et éloignées.

Les changements climatiques menacent les moyens de subsistance et les économies (voir la section 3.4)

Les changements climatiques ont déjà des répercussions sur de nombreux secteurs économiques et de nombreuses activités de subsistance dont dépendent les collectivités rurales et éloignées pour leur subsistance et leur bien-être économique. Des stratégies d'adaptation locales contribuent à protéger les économies traditionnelles par la planification et le renforcement des capacités, la modification des pratiques d'aménagement des terres et l'utilisation des technologies.

Les infrastructures et les services essentiels sont à risque (voir la section 3.5)

Les infrastructures essentielles et les services connexes, en particulier dans les collectivités côtières rurales et éloignées, sont à risque de défaillance et de perturbation en raison de l'augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes. En réaction, de plus en plus de ces collectivités intègrent les considérations relatives aux changements climatiques dans la planification et la conception communautaires, et commencent à réimaginer, renforcer et reconstruire leur environnement bâti.

Les changements climatiques ont un impact négatif sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités (voir la section 3.6)

Dans les collectivités rurales et éloignées, la santé et le bien-être sont fortement influencés par les environnements socioculturels et physiques. Les changements climatiques ont un impact négatif sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités, tant directement qu'indirectement. La réduction des risques, l'adaptation aux impacts des changements climatiques et la concrétisation des avantages connexes de la réduction des émissions de GES offrent d'importants débouchés au secteur de la santé.

Les changements climatiques entraînent des pertes et des dommages immatériels (voir la section 3.7)

Les impacts des changements climatiques entraînent un large éventail de pertes et de dommages immatériels dans de nombreuses collectivités et régions rurales et éloignées, y compris la perte d'identité, de continuité culturelle et de sentiment d'appartenance. Ces pertes et dommages immatériels devraient être généralisés et cumulatifs, et il est essentiel d'en tenir compte dans l'adaptation aux changements climatiques et dans les politiques correspondantes.

La participation locale à la prise de décisions en matière d'adaptation améliore les résultats (voir la section 3.8)

Le renforcement des capacités de gouvernance et de prise de décision en matière d'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées nécessite l'accès à des ressources, à des renseignements et à du soutien supplémentaire. Il est possible d'améliorer l'efficacité des processus décisionnels liés aux programmes et aux politiques d'adaptation grâce à une plus grande participation des résidents et des organisations locales, à l'inclusion des connaissances locales et autochtones et à la prise en compte des circonstances spécifiques des collectivités et des régions rurales et éloignées.

3.1 Introduction

Il existe des régions rurales et éloignées dans chaque province et territoire du Canada, de nombreuses collectivités éloignées étant situées dans les régions arctiques et subarctiques du pays. Ces régions, et les collectivités qui s'y trouvent, abritent des résidents, des entreprises et des organisations qui sont souvent très dépendants de ressources naturelles et d'écosystèmes pour leur culture, leurs moyens de subsistance, leur transport et leur bien-être. Par rapport aux centres urbains, les collectivités rurales et éloignées subissent souvent des impacts plus importants des changements climatiques, en particulier dans les régions arctiques et subarctiques, où les changements climatiques se produisent plus rapidement qu'ailleurs au pays (Bush et Lemmen, 2019). Ces collectivités ont également tendance à disposer de moins de ressources institutionnelles formelles, humaines et financières leur permettant de réagir à ces changements. Parallèlement, les collectivités rurales et éloignées ont néanmoins accès à d'importantes ressources qui soutiennent la résilience et l'adaptation et dont elles peuvent tirer parti, comme des économies informelles fortes, des réseaux sociaux et une appartenance au lieu, à la collectivité et à la culture.

Les difficultés et les inégalités dans les régions rurales et éloignées (voir l'encadré 3.1) ont un impact sur toutes les personnes vivant au Canada. Alors que les 15 plus grandes municipalités du Canada abritent 53 % de la population canadienne, la grande majorité (79 %) des municipalités et des autres zones habitées du pays sont situées en dehors des grandes régions métropolitaines (Minnes et Vodden, 2019; Statistique Canada, 2016). En outre, près de 6 millions de Canadiens (environ 17 % de la population du pays) vivent dans des régions rurales et éloignées¹ (Statistique Canada, 2016).

Encadré 3.1 : Les collectivités rurales et éloignées

Pour les besoins de ce chapitre, les collectivités rurales et éloignées (y compris les petites villes) sont définies comme ayant une population de moins de 10 000 personnes. Dans les collectivités rurales, moins de 50 % de la population se déplace vers un milieu urbain pour y travailler. Les collectivités éloignées sont celles dont aucun résident ne se rend en ville pour travailler ou celles qui sont situées au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest, au Nunavut, au Nunavik ou au Nunatsiavut¹.

1 Diverses définitions des collectivités rurales et éloignées sont utilisées dans la documentation. Celles utilisées dans ce chapitre ont été choisies par souci de cohérence avec le chapitre « [Villes et milieux urbains](#) ». Étant donné l'importance des interactions et des interdépendances entre les régions rurales et urbaines pour la vie et les moyens de subsistance en milieu rural, cette définition comprend toutes les zones habitées situées en dehors des agglomérations de recensement et des régions métropolitaines de recensement de Statistique Canada (p. ex. en dehors des régions « urbaines ») (Statistique Canada, 2016). En revanche, la classification actuelle des centres de population de Statistique Canada désigne les petits centres de population comme comprenant entre 1 000 et 29 999 habitants (Statistique Canada, 2016).

Les collectivités rurales et éloignées apportent une contribution essentielle à la société, à la culture et à la bonne intendance de l'environnement au Canada. Ces régions fournissent des ressources naturelles telles que de la nourriture, de l'énergie et de l'eau potable, ainsi que d'autres commodités écologiques (voir le chapitre « [Services écosystémiques](#) ») qui soutiennent tous les Canadiens, tout en générant environ 30 % du produit intérieur brut du Canada (Vodden et coll., 2019). Malgré ces contributions, les collectivités rurales et éloignées du Canada restent comparativement peu étudiées et n'ont pas été considérées comme prioritaires en ce qui concerne l'élaboration de politiques et de financement (Fondation canadienne pour la revitalisation rurale, 2015). Ce chapitre examine les lacunes de la recherche et des politiques du point de vue des changements climatiques en évaluant les connaissances actuelles sur les impacts des changements climatiques, les stratégies d'adaptation et les orientations futures possibles pour l'adaptation aux changements climatiques dans les régions rurales et éloignées.

3.1.1 Régions rurales et éloignées du Canada

Malgré la vaste répartition géographique des collectivités rurales et éloignées au Canada, celles-ci partagent des caractéristiques similaires qui influencent et modèlent leurs expériences en matière de changements climatiques. Par exemple, les collectivités rurales et éloignées sont souvent géographiquement isolées, dépendent des ressources naturelles pour leur subsistance et leurs modes de vie, et ont des infrastructures et des capacités sociales et physiques limitées (p. ex. un accès limité aux technologies et aux systèmes de communication, aux services de santé et d'éducation, aux approvisionnements et aux ressources humaines). En même temps, les collectivités rurales et éloignées ont souvent un capital social solide et des réseaux forts, un savoir local ou autochtone approfondi et un taux élevé de participation communautaire, ce qui crée de la résilience et de la fierté (Lemmen et coll., 2008). Il est important de noter que, bien qu'il existe un partage des priorités, des préoccupations et des forces, les collectivités rurales et éloignées du Canada présentent une grande diversité de facteurs et d'attributs importants, notamment la géographie physique, la culture, l'économie et la démographie. Ces facteurs ont une incidence différente sur les expériences, les réactions et les capacités de ces collectivités en ce qui concerne les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci.

Dans les collectivités rurales et éloignées, les changements liés aux changements climatiques se produisent parallèlement à d'autres changements sociaux et économiques, ce qui entraîne des perturbations sociales. Parmi les facteurs de stress aggravants, on peut citer l'adoption de technologies permettant d'économiser de la main-d'œuvre afin de réduire les coûts de production dans les industries primaires, ainsi que les changements des conditions du marché et de la compétitivité internationale en raison des réorientations de la politique économique mondiale, comme l'expiration de l'Accord sur le bois d'œuvre résineux en 2015 ou l'interdiction de commerce sur les peaux de phoque par l'Union européenne en 2010 (Schroth et coll., 2015; Reed et coll., 2014). Les nouvelles technologies, l'augmentation du coût de la vie et la croissance de l'économie salariale dans certaines collectivités se recoupent également avec les changements climatiques ce qui a des impacts sur les activités de subsistance basées sur la terre (Clark et coll., 2016b; Pearce et coll., 2015).

Les changements démographiques (p. ex. le vieillissement des populations), la croissance de la population dans de nombreuses collectivités autochtones et le déplacement des jeunes adultes et des retraités vers

des endroits riches en commodités sont d'autres changements qui aggravent la façon dont les changements climatiques sont vécus dans les collectivités rurales et éloignées du Canada. Ces changements peuvent avoir des répercussions négatives sur la main-d'œuvre rurale et l'assiette fiscale disponible, les services et les occasions d'affaires, les dynamiques sociales, la transmission intergénérationnelle des connaissances et pratiquement tous les aspects de la vie de la collectivité. D'un point de vue institutionnel, les régions rurales et éloignées sont souvent affectées de manière disproportionnée par les réductions du financement des programmes et des services par le gouvernement, et sont soumises à des politiques provinciales ou territoriales qui ne sont pas bien adaptées à leur situation particulière (Vodden et coll., 2019; Dampier et coll., 2016). Par exemple, les résidents de ces régions subissent souvent un nombre disproportionné de pertes d'emplois et de conséquences économiques négatives résultant des changements apportés aux politiques énergétiques des provinces ou des territoires (Dampier et coll., 2016). Ces défis, combinés à des circonstances en constante évolution, exigent un soutien à tous les niveaux (national, régional, local) pour élaborer et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation et de résistance dans les régions rurales et éloignées. La figure 3.1 met en évidence les atouts et les difficultés des collectivités rurales et éloignées en matière d'adaptation aux changements climatiques.



Figure 3.1 : Résumé des principaux actifs et défis des collectivités et régions rurales et éloignées en matière d'adaptation aux changements climatiques.

3.1.2 Approche adoptée dans l'élaboration du chapitre

S'appuyant sur des évaluations nationales antérieures (Warren et Lemmen, 2014; Lemmen et coll., 2008), le présent chapitre fait la synthèse de l'état des connaissances sur les impacts des changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées du Canada. Plus précisément, ce chapitre adopte une perspective d'équité sociale face aux changements climatiques et environnementaux, et met l'accent sur l'adaptation, la force et la résilience au sein des collectivités rurales et éloignées. Bien que des interventions à tous les niveaux soient nécessaires, ce chapitre met l'accent sur le besoin de stratégies locales qui soient culturellement et géographiquement pertinentes. Ce chapitre présente des renseignements et des perspectives provenant de l'ensemble des provinces et des territoires du Canada. Les renseignements inclus ont été recueillis grâce à un examen systématique de la documentation publiée, évaluée par des pairs ou de portée plus générale, sur les changements climatiques dans les collectivités et les régions rurales et éloignées dans l'ensemble du Canada; à la consultation de personnes vivant, travaillant et effectuant des recherches dans ces collectivités; et à la collaboration avec d'autres auteurs participant à cette évaluation nationale. Par ailleurs, ce chapitre intègre explicitement les voix, l'expertise et les connaissances de personnes, d'aînés, d'organisations et de collectivités autochtones, reconnaissant que de nombreuses régions éloignées du Canada comprennent des collectivités autochtones et des terres ancestrales des Premières Nations, des Inuits et des Métis. Le chapitre se termine par une discussion sur les lacunes en matière de connaissances, les besoins en recherche et les enjeux émergents, ainsi que par une synthèse de l'état de l'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées.

Ce chapitre présente sept messages clés sur l'état des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ceux-ci dans les collectivités et les régions rurales et régionales, ainsi qu'un certain nombre de courtes études de cas provenant de collectivités spécifiques. Ces messages clés reflètent une série de thèmes prioritaires qui sont ressortis de la revue de la littérature et des consultations, et s'appuyant sur l'expertise de l'équipe d'auteurs. Ces thèmes prioritaires sont les suivants : l'accroissement de la capacité d'adaptation par le partage des connaissances, la collaboration et la co-création, les systèmes de connaissances adaptées au milieu, les moyens de subsistance et l'économie, les infrastructures et les transports, la santé et le bien-être, l'identité, la culture et la société, ainsi que la gouvernance et les institutions. Dans ces domaines prioritaires, il est important d'examiner comment les caractéristiques particulières des collectivités rurales et éloignées peuvent appuyer ou entraver une adaptation efficace aux changements climatiques (voir l'encadré 3.2).

Encadré 3.2 : Facteurs sociaux influençant la vulnérabilité aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées

La vulnérabilité aux changements climatiques est influencée par divers facteurs déterminants, notamment les facteurs sociaux, culturels et politiques (p. ex. l'accès aux ressources, la représentation politique et les réseaux sociaux), ainsi que les caractéristiques et les circonstances individuelles (Krawchenko et coll., 2016). Dans la littérature, l'indigénéité, le sexe, l'âge et le statut socio-économique sont mis en évidence comme étant des facteurs clés qui influencent la vulnérabilité individuelle et collective aux impacts des changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées du Canada.

Indigénéité

Les populations des Premières Nations, des Inuits et des Métis du Canada, en particulier celles qui vivent dans des régions éloignées ou côtières de l'Arctique et dans l'Inuit Nunangat (territoires inuits), sont particulièrement affectées par les impacts sociaux, économiques et environnementaux négatifs découlant des changements climatiques, en raison de leur dépendance souvent étroite et persistante à l'égard de la terre pour leur subsistance, leur culture et leur bien-être (Archer et coll., 2017; Picketts et coll., 2017; Gouvernement du Canada, 2016; Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Cunsolo Willox et coll., 2015; Durkalec et coll., 2015; Cunsolo Willox et coll., 2012). Il est également important de tenir compte de la manière dont les iniquités actuelles observées dans les collectivités autochtones ont été créées, par suite des politiques gouvernementales passées et actuelles (Loring et Gerlach, 2015). En même temps, les liens durables avec la terre et la culture que possèdent de nombreux peuples et collectivités autochtones au Canada sont une source de force, qui favorise la capacité d'adaptation.

Expériences sexospécifiques

Les chercheurs ont commencé à explorer les dimensions sexospécifiques des changements climatiques dans les régions rurales et éloignées, le sexe étant reconnu comme un déterminant clé ayant un impact sur les expériences individuelles, en particulier dans les collectivités autochtones (Young et coll., 2016; Hanrahan et coll., 2014), forestières (Reed et coll., 2014), agricoles (Fletcher et Knuttila, 2016) et côtières (Williams et coll., 2018; Women's Environment and Development Organization, 2018; Vasseur et coll., 2015). Dans les collectivités rurales et éloignées, la division du travail selon le sexe influence la façon dont les personnes sont touchées par les changements climatiques, ainsi que leur capacité à réagir à ces impacts. Dans les collectivités agricoles de la Saskatchewan, par exemple, on a constaté que les crises environnementales liées aux changements climatiques renforcent encore les rôles patriarcaux des hommes, qui font d'eux des « agriculteurs primaires » et positionnent les femmes dans des rôles de soin et de soutien aux agriculteurs. Ce positionnement peut conduire les hommes à être plus négativement affectés par les impacts psychologiques des extrêmes climatiques, en raison de leur fonction d'« agriculteurs primaires », ou pourrait rendre les femmes plus vulnérables en raison de la pression constante pour appuyer les autres personnes affectées par les extrêmes climatiques (Williams et coll., 2018; Fletcher et Knuttila, 2016). Dans la collectivité inuite de Black Tickle, au Labrador, les hommes sont souvent responsables de la collecte de l'eau. Par conséquent, comme les changements climatiques affectent la disponibilité de l'eau, les femmes célibataires pourraient être plus vulnérables à l'insécurité hydrique (Hanrahan et coll., 2014).

Populations vieillissantes

L'âge influence la vulnérabilité des personnes et des collectivités aux changements climatiques, en particulier dans les régions rurales et éloignées, où les populations ont tendance à être plus âgées. Plus précisément, de nombreuses personnes âgées des collectivités rurales et côtières sont plus à risque en raison des difficultés d'accéder aux avertissements liées aux urgences environnementales et à y répondre, d'une plus grande réticence à quitter leur domicile et de capacités financières limitées. Ces défis sont aggravés par des services souvent limités pour les populations âgées qui ont besoin d'un soutien à la fois social et physique (Krawchenko et coll., 2016; Manuel et coll., 2015; Rapaport et coll., 2015).

Statut socio-économique

Dans de nombreux cas, des facteurs socio-économiques tels que des taux de pauvreté élevés, le chômage, l'insécurité alimentaire et des niveaux de scolarité inférieurs peuvent exacerber et amplifier les impacts des changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées (Loring et Gerlach, 2015; Vasseur et coll., 2015; Reed et coll., 2014). Les résidents des collectivités dont le revenu moyen est plus faible sont affectés de façon disproportionnée par les impacts des changements climatiques, en partie en raison d'une tendance à la hausse des coûts d'assurance pour les propriétaires de maison liés aux dommages aux biens et aux infrastructures causés par les phénomènes météorologiques extrêmes (Drolet et Sampson, 2017). Qui plus est, les solutions telles que la relocalisation ou la construction de murs de protection pour prévenir ou retarder ces dommages ne sont pas financièrement accessibles à tous (Fédération canadienne des municipalités, 2018b; Vasseur et coll., 2017). En outre, les possibilités de toucher un salaire sont limitées dans certaines collectivités rurales et éloignées, et sont souvent complétées par des activités telles que la chasse, la pêche, le trappage et la cueillette, qui sont également affectées par les changements climatiques (Kornfeld, 2016; Statham et coll., 2015).

3.2 Les changements climatiques ont des impacts sur les collectivités rurales et éloignées

Les collectivités rurales et éloignées subissent souvent les impacts des changements climatiques sur l'environnement, la société, l'économie, la culture et la santé de manière disproportionnée comparativement aux centres urbains. Malgré ces défis, les collectivités rurales et éloignées font preuve d'une grande résilience et sont souvent en première ligne des mesures d'adaptation au Canada.

Les collectivités rurales, éloignées et qui dépendent des ressources naturelles ont déjà eu à faire face à des changements socioécologiques, ce qui a créé une culture de la résilience. Alors que l'incertitude associée aux impacts des changements climatiques et à la vitesse de ces changements remet en question les capacités existantes, de nombreuses collectivités ont commencé à élaborer et à mettre en œuvre des stratégies

d'adaptation pour anticiper ces impacts, s'y préparer et y faire face. Les stratégies d'adaptation utilisées par les collectivités rurales et éloignées du pays comprennent la collecte et le partage renseignements sur les répercussions des changements climatiques et les interventions possibles, le renforcement de la capacité d'adaptation, le recours à des technologies novatrices et la collaboration entre les administrations pour concevoir des plans et des politiques qui facilitent une adaptation réussie et assurent une résilience continue.

3.2.1 Introduction

Les collectivités rurales et éloignées du Canada abritent des résidents, des entreprises et des organisations qui dépendent généralement de ressources naturelles et d'écosystèmes sensibles aux changements climatiques pour leur culture, leurs moyens de subsistance, leur transport et leur bien-être. En même temps, en partie en raison de leur situation géographique, ces collectivités subissent des impacts plus importants des changements climatiques que leurs homologues urbains, qui se situent souvent plus au sud.

Ainsi, les collectivités rurales et éloignées sont souvent caractérisées comme étant plus vulnérables aux changements climatiques que d'autres collectivités du Canada (Reed et coll., 2014). Toutefois, de nombreuses collectivités rurales et éloignées ont, par le passé, fait preuve d'une grande capacité d'adaptation et de résilience, notamment face aux cycles d'expansion et de ralentissement de la demande du marché pour les produits issus des ressources naturelles, mais aussi en raison de l'héritage colonial et d'autres relations de pouvoir qui ont eu des répercussions négatives sur celles-ci. Les collectivités inuites de l'Inuit Nunangat, par exemple, sont habituées à travailler au sein d'environnements changeants, à adapter le moment et le type de chasse aux espèces disponibles et à s'appuyer sur la mémoire de groupe, la transmission des connaissances d'une génération à l'autre, les enseignements tirés de l'expérience, le partage et la traite (voir la section 3.4). Une exposition continue aux changements climatiques sur de longues périodes peut créer des capacités de « réaction avec apprentissage » qui facilitent l'adaptation (Pearce et coll., 2015). Les incertitudes quant aux impacts des changements climatiques sur des collectivités particulières remettent en question la capacité d'adaptation, mais beaucoup ont commencé à élaborer et à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation, en s'appuyant sur les connaissances locales et autochtones, les réseaux sociaux et des pratiques d'utilisation des ressources flexibles (Clark et coll., 2016b; Young et coll., 2016).

3.2.2 Partage des connaissances et collaboration

La collecte et la mise en commun de renseignements relatifs aux impacts des changements climatiques et aux interventions possibles sont essentielles aux efforts d'adaptation. Des recherches récentes soulignent l'importance de la coproduction de connaissances, tirant parti des systèmes de connaissances multiples et des connaissances expérientielles et adaptées au milieu. Par exemple, des programmes de surveillance à l'échelle de la collectivité et des recherches collaboratives ont été utilisés pour informer la prise de décisions sur l'adaptation aux changements climatiques. L'utilisation des connaissances locales et autochtones a contribué à soutenir l'évitement des dangers, la préparation aux situations d'urgence, la flexibilité et l'innovation en ce qui concerne les pratiques de chasse, ainsi que la surveillance des ravageurs, des agents pathogènes et des mauvaises herbes. Citons à titre d'exemple l'application eNuk du Nunatsiavut (eNuk, s.d.),

le Programme du savoir des Territoires du Nord-Ouest (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017) et Field Crops de 4-H Ontario : Projet sur les mauvaises herbes, les insectes et les maladies (4-H, s.d.). De même, la surveillance de la santé liée aux changements climatiques a permis de formuler des stratégies d'adaptation clés (voir le tableau 3.4) pour réagir à des impacts tels que les maladies à transmission vectorielle et d'origine alimentaire, la réduction de la quantité et de la qualité de l'eau, les maladies respiratoires et les problèmes de santé mentale.

Les résidents et les organisations des collectivités rurales et éloignées ont également travaillé avec des organismes partenaires de tous les ordres de gouvernement, des universités et des organisations non gouvernementales non seulement pour recueillir des données sur les risques et les interventions liés aux changements climatiques, mais aussi pour communiquer les renseignements sur ces recherches (p. ex. des listes d'espaces sûrs, des brochures sur les éclosions de maladie et les pratiques exemplaires de santé publique en matière d'adaptation) (Drolet et Sampson, 2017; Groulx, 2017; Pearce et coll., 2012). Ce travail inclut l'intégration de matériel culturellement pertinent et approprié sur le plan local aux programmes éducatifs, et l'offre de conseils pratiques sur l'adaptation aux propriétaires, aux investisseurs, aux entreprises, aux gouvernements et aux organisations à but non lucratif locaux (Groulx et coll., 2014; Pearce et coll., 2012).

Ensemble, ces stratégies de création et de mobilisation des connaissances ont soutenu et amélioré la capacité d'adaptation des collectivités rurales et éloignées. Par exemple, les efforts d'adaptation tirent parti des capacités existantes au sein des collectivités et s'en inspirent en améliorant les réseaux sociaux, les liens avec les pratiques culturelles et l'apprentissage axé sur le territoire, ainsi que la transmission des connaissances d'une génération à l'autre. Des efforts supplémentaires sont toutefois nécessaires pour réduire les obstacles sociaux à l'adaptation (p. ex. la pauvreté, les inégalités et les préoccupations en matière d'habitation) (Groulx, 2017). Les initiatives en matière d'adaptation ont également contribué à créer des collectivités et des économies locales plus viables et plus durables. Pour ce faire, on a mis l'accent, dans les efforts de planification et de développement des collectivités, sur la production alimentaire locale, d'autres options de transport, des collectivités-amies des aînés, des pratiques d'énergie propre et le développement de projets d'énergie renouvelable. Les membres des collectivités et les citoyens concernés des régions rurales de la Colombie-Britannique, par exemple, réclament une planification intégrée et holistique des réactions face aux changements environnementaux et sociaux (Drolet et Sampson, 2017).

Les collectivités rurales et éloignées recourent également à des technologies novatrices dans leurs initiatives en matière d'adaptation, notamment l'utilisation de la télésanté (c.-à-d. la communication de renseignements et la prestation de services de santé au moyen de technologies de l'information et des communications), l'imagerie par satellite pour évaluer les conditions imprévisibles, et les médias sociaux pour intervenir dans les situations d'urgence (Taylor, 2019; Goodridge et Marciniuk, 2016). La reconstruction numérique a également été utilisée pour mobiliser les connaissances et aider à préserver numériquement des sites d'importance culturelle et sociale qui risquent d'être endommagés par les changements climatiques. Par exemple, la technologie de balayage laser 3D a été utilisée pour créer une reconstruction numérique de Fort Conger, au Nunavut (une ancienne colonie, fortification militaire et poste de recherche remontant à 1881), un exemple de site du patrimoine polaire qui risque d'être détruit en raison des changements climatiques (voir la figure 3.2; Dawson et Levy, 2016; Science et survie à Fort Conger, 2015). La reconstruction numérique permet au public d'explorer un site qu'il ne pourra peut-être jamais voir. D'autres technologies, telles que les cartes SIG (système d'information géographique) et des animations d'inondations en 3D, ont été utilisées

pour mieux communiquer aux membres des collectivités les risques climatiques liés aux inondations et à la défaillance des infrastructures (Lieske, 2015; Lieske et coll., 2014).

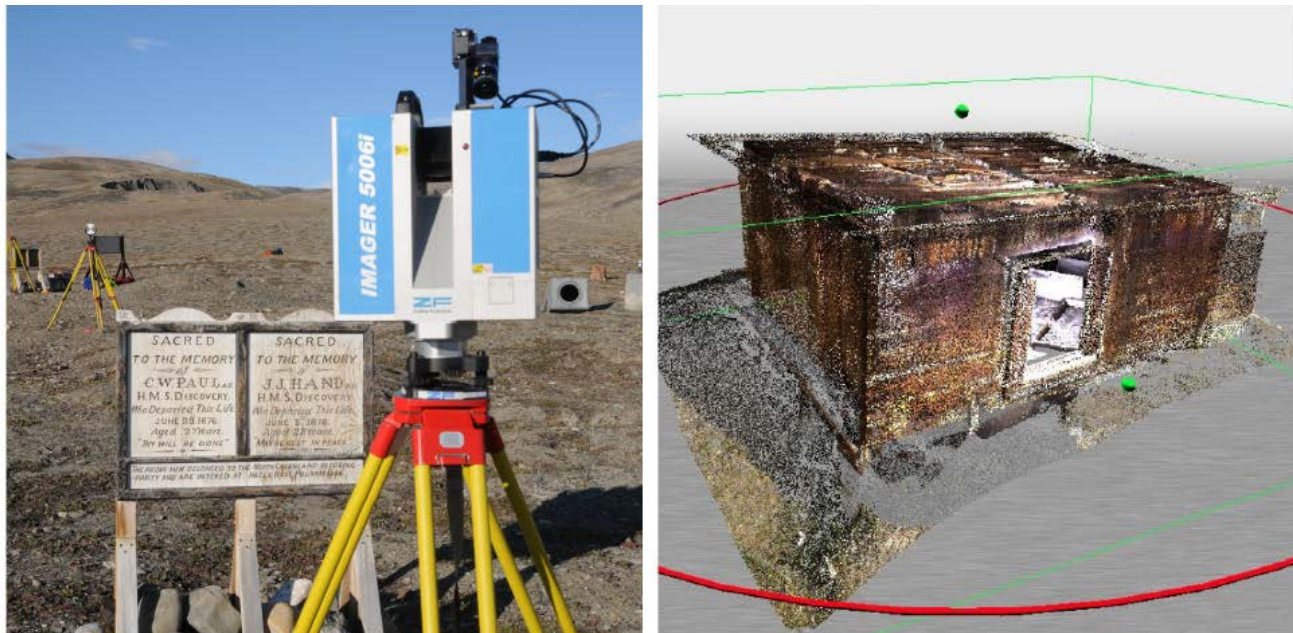


Figure 3.2 : Le site historique de Fort Conger est en cours de conservation numérique grâce à l'utilisation de la technologie de balayage laser 3D, qui a été utilisée pour créer une reconstruction numérique du site. Source : Science et survie à Fort Conger, 2015.

Les résidents des collectivités rurales et éloignées ont également participé activement à l'élaboration d'évaluations nationales, provinciales ou territoriales de projets pilotes, de programmes et de politiques concernant les impacts aux changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci afin de s'assurer que leur voix soit entendue et leur situation, comprise. L'adaptation est également de plus en plus soutenue par une planification et une politique co-construites, bien qu'il existe un besoin clair et continu d'une plus grande autonomie locale dans la prise de décision liée à l'adaptation, ainsi que d'une amélioration de la coordination et de la communication entre les différents ordres de gouvernement (voir la section 3.8). La résilience a été renforcée dans les collectivités rurales et éloignées grâce à des plans d'action contre les changements climatiques qui sont culturellement pertinents et qui tirent parti des réseaux sociaux, des expériences, des considérations relatives à la diversité, de la recherche de consensus et des plans d'intervention d'urgence propres à chaque lieu. Des exemples précis de la manière dont les collectivités rurales et éloignées prennent des mesures d'adaptation partout au Canada sont présentés dans les tableaux 3.1 à 3.6 et dans les diverses études de cas incluses dans ce chapitre (voir l'encadré 3.3).

Encadré 3.3 : Exemples de collectivités rurales et éloignées du Canada prenant des mesures d'adaptation

- L'Alliance Bagida-Waad, une organisation à but non lucratif fondée par la Nation Saugeen Ojibway et les Chippewas de Nawash, recense les connaissances et les expériences des pêcheurs autochtones sur les impacts des changements climatiques sur le lac Huron et dans la baie Georgienne, en Ontario.
- Les producteurs agricoles des régions rurales de la Saskatchewan réagissent à la variabilité du climat par une série de pratiques de gestion environnementale telles que la mise en jachère, la création de brise-vent, l'installation d'infrastructures hydrauliques agricoles et l'exploitation de nouvelles cultures avec l'appui de programmes et de partenariats gouvernementaux.
- Les fonctionnaires provinciaux de la Nouvelle-Écosse travaillent avec les planificateurs et les gestionnaires des zones côtières pour élaborer des stratégies visant à rediriger des voies de transport et à mettre à jour des normes de conception. Les autorités municipales de la province utilisent également des cartes des inondations pour avertir les futurs promoteurs des risques projetés, repérer les infrastructures municipales essentielles qui sont vulnérables et adapter leurs plans et équipements d'intervention d'urgence en conséquence.
- Dans les Territoires du Nord-Ouest, un certain nombre de stratégies d'adaptation des collectivités comprennent des ateliers éducatifs et des programmes d'activité physique visant à réduire les risques pour la santé associés aux feux de forêt.
- Dans la région du Nunatsiavut, au Labrador, des programmes communautaires réunissent de jeunes récolteurs et des récolteurs expérimentés qui servent de mentors afin de soutenir les liens sociaux et culturels et d'améliorer les compétences, la fierté et la sécurité alimentaire.
- Au sein des structures de gouvernance des bassins versants en Colombie-Britannique, des acteurs se situant à différents niveaux travaillent ensemble pour fournir aux décideurs et aux intervenants des renseignements à jour sur les changements de la qualité et du débit de l'eau, ainsi que sur les autres impacts des changements climatiques et les mesures d'intervention potentielles.

3.3 Les connaissances locales et autochtones sont essentielles pour comprendre et s'adapter aux impacts des changements climatiques

Les résidents des collectivités rurales et éloignées ont un lien étroit avec les milieux dont ils dépendent pour leur subsistance, leur bien-être et leur mode de vie. Les systèmes de connaissances adaptées au milieu, notamment les connaissances locales et autochtones, et l'expérience vécue sont essentiels pour comprendre et s'adapter aux impacts des changements climatiques dans les collectivités et les régions rurales et éloignées.

Les impacts des changements climatiques dépendent d'un certain nombre de facteurs liés entre eux et ancrés dans des endroits spécifiques. Les changements climatiques ont donc des impacts très variés sur les habitants et les collectivités des régions rurales et éloignées du Canada. Il est important que les systèmes de connaissances adaptées au milieu, notamment les connaissances locales et autochtones, soient utilisés pour comprendre les impacts des changements climatiques et y réagir. Les systèmes de connaissances locales et autochtones sont tous deux basés sur des relations continues à long terme entre les personnes et leur environnement naturel. De telles connaissances peuvent fournir des indications utiles sur les changements des conditions climatiques et sur les expériences vécues par les personnes touchées par les changements climatiques.

3.3.1 Introduction

Dans de nombreuses régions rurales et éloignées du Canada, les connaissances sur l'environnement sont fortement ancrées dans le lieu (Chapin et coll., 2015). Les systèmes de connaissances adaptées au milieu, qui sont essentiels pour comprendre et réagir aux impacts des changements climatiques, sont une force des collectivités rurales et éloignées qui est déjà mise à profit dans de nombreux contextes de gouvernance, de politique et de recherche sur les changements climatiques (GERARCC, 2018; Arnold et Fenech, 2017; Ellis et Albrecht, 2017; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Horning et coll., 2016a, b; Cunsolo Willox et coll., 2013 a, b;).

Les connaissances autochtones, les connaissances locales et d'autres systèmes de connaissances adaptées au milieu sont couramment utilisés dans les régions rurales et éloignées du Canada. Les connaissances autochtones, qui sont conservées par les détenteurs du savoir autochtone, ont été définies comme des connaissances acquises par des pratiques culturelles et des expériences vécues, dont les observations de plusieurs générations, les interactions avec d'autres membres de la collectivité, les enseignements et le partage de compétences (Pearce et coll., 2015; Ford et coll., 2014). Les connaissances autochtones sont systématiques, cumulatives et évoluent continuellement au fur et à mesure que de nouvelles observations sont faites et que de nouvelles expériences sont vécues (Pearce et coll., 2015; Ford et coll., 2014). Les systèmes de connaissances autochtones sont fondés sur des générations d'observations et d'expériences adaptées au milieu. Ces connaissances sont communiquées à travers des histoires, des valeurs et des

modes de connaissance, qui façonnent les expériences, les perceptions, la compréhension et les réactions aux changements climatiques (GERARCC, 2018). Les connaissances locales, c'est-à-dire les connaissances acquises en vivant et en apprenant dans des lieux et des environnements spécifiques, sont également fondées sur des interactions soutenues entre les personnes et les environnements naturels dont elles font partie. Dans le contexte des changements climatiques, les connaissances locales offrent un aperçu des réactions humaines à des conditions environnementales changeantes (Chapin et coll., 2015). Des recherches indiquent que la rapidité des changements climatiques pourrait remettre en question la capacité et l'applicabilité de certains aspects des systèmes de connaissances locales et autochtones (Pearce et coll., 2015). Toutefois, en raison de leur nature propre au milieu, ces formes de connaissances sont solides et essentielles, et il a été démontré qu'elles sont déterminantes pour cerner et traiter les impacts locaux des changements climatiques dans les collectivités et les régions rurales et éloignées (Ford et coll., 2016; Chapin et coll., 2015).

Les systèmes de connaissance autochtones et locaux présentent plusieurs points forts d'importance dans le contexte de la compréhension des changements climatiques et de la réaction à ceux-ci. En effet, ils permettent : 1) de comprendre, de surveiller et de consigner les impacts des changements climatiques, 2) d'accroître la capacité d'adaptation et de renforcement de la résilience, 3) de soutenir des stratégies durables de réduction des risques et 4) d'éclairer la prise de décision et les changements de politique.

3.3.2 Surveiller et consigner les impacts des changements climatiques

Dans de nombreuses régions rurales et éloignées du Canada, des systèmes de connaissances adaptées au milieu sont utilisés pour surveiller les impacts des changements climatiques (Arnold et Fenech, 2017; Savo et coll., 2017; Statham et coll., 2015; Gill et Lantz, 2014). Pour les Teet'it Gwich'in de Fort McPherson, dans les Territoires du Nord-Ouest, par exemple, les connaissances autochtones sont utilisées pour surveiller les impacts environnementaux des changements climatiques et fournir des renseignements adaptés au milieu et au contexte sur la sécurité de l'approvisionnement en eau (Gill et Lantz, 2014). Les données recueillies dans le cadre de ce programme de surveillance ont été utilisées pour créer une carte en ligne qui affiche des photos et des vidéos fournies par les participants, ce qui a permis de produire de l'information descriptive et culturellement pertinente sur les changements environnementaux (Gill et Lantz, 2014). Comme autre exemple, des collectivités du Nunavut ont utilisé les connaissances autochtones pour donner une idée des changements climatiques observés dans la région au cours de l'hiver 2010–2011, qui comprenaient une gamme d'extrêmes climatiques (p. ex. vents extrêmes et imprévisibles, températures en hausse), de la glace de mer (p. ex. englacement plus tardif, épaisseur imprévisible) et des conditions de sol (p. ex. conditions de sol glacé) pour inspirer des études futures (Statham et coll., 2015). Dans le Programme du savoir des Territoires du Nord-Ouest, le rôle des connaissances autochtones et locales est reconnu comme essentiel pour repérer et comprendre les changements climatiques et leurs conséquences sur le paysage, la faune, les activités traditionnelles, la santé et le bien-être des êtres humains, ainsi qu'éclairer les décisions gouvernementales (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017). À Rigolet, au Nunatsiavut (Labrador), les connaissances autochtones sont utilisées pour surveiller les changements climatiques grâce à un programme de surveillance dirigé par la collectivité, qui permet à ses membres de consigner les changements environnementaux et sanitaires associés aux changements climatiques en utilisant une

application de téléphonie mobile eNuk (voir la figure 3.3; Kipp et coll., 2019; Sawatzky et coll., 2017). Les renseignements recueillis par l'application sont utilisés pour assurer des déplacements plus sûrs grâce aux échanges de renseignements, pour éclairer la prise de décision en matière de politique et pour préserver les connaissances inuites importantes. Ces exemples illustrent le rôle clé que jouent les détenteurs du savoir autochtone et des connaissances locales dans la compréhension des impacts et de l'ampleur des changements climatiques.



Figure 3.3 : L'application eNuk est un outil de surveillance continue et en temps quasi réel des observations, des configurations et des tendances des conditions climatiques et environnementales et des implications sanitaires associées. L'application permet aux membres de la collectivité de consigner leurs observations sur l'environnement et la santé sous forme de photos, de vidéos, d'enregistrements audio et de descriptions textuelles lors de leurs déplacements ou lorsqu'ils pratiquent la chasse, la pêche et la récolte sur le territoire. L'application comprend des indicateurs de changements environnementaux (p. ex. amincissement de la glace ou tendances météorologiques inhabituelles) et des éléments de santé physique (p. ex. blessures involontaires) et de bien-être (p. ex. sentiments et émotions associés à certaines conditions ou certains lieux) (eNuk, s.d.). Les photos sont une gracieuseté de Ashlee Cunsolo et Inez Shiwak.

3.3.3 Accroître la capacité d'adaptation et renforcer la résilience

Il a également été reconnu que les systèmes de connaissances adaptées au milieu améliorent la capacité d'adaptation et la résilience aux impacts indésirables des changements climatiques dans les régions rurales et éloignées, tant du point de vue individuel que collectif. Pour de nombreuses collectivités autochtones du Nord du Canada, les connaissances autochtones sont fondées sur des connaissances et des compétences

qui sont à la base de pratiques sécuritaires au cours des sorties sur le territoire (p. ex. pour intervenir lors de dangers environnementaux comme les variations des conditions de neige, de glace et météorologiques) (Ford et coll., 2014). Il en résulte que les connaissances autochtones ont contribué à la souplesse et à l'adaptabilité des individus et des collectivités, ainsi qu'à la réussite de l'évitement des dangers et de la préparation aux situations d'urgence dans le contexte des conditions climatiques changeantes (Pearce et coll., 2015). Par conséquent, les évaluations adaptées au milieu peuvent être utilisées non seulement comme un moyen de rendre compte des conditions climatiques locales, mais aussi comme une voie par laquelle les usagers des connaissances peuvent mieux comprendre la capacité d'adaptation dans des contextes spécifiques (Ford et coll., 2015).

3.3.4 Soutenir des stratégies durables de réduction des risques

La nature contextuelle des changements climatiques a posé des défis aux collectivités rurales et éloignées en ce qui concerne la création et la mise en œuvre de stratégies durables et efficaces de réduction des risques. Des recherches portant sur les régions rurales et éloignées dans l'ensemble du Canada ont montré que l'intégration des connaissances adaptées au milieu qui sont ancrées dans les expériences vécues par les collectivités locales peut contribuer de manière positive à la planification du développement durable (Drolet et Sampson, 2017). Par exemple, une étude portant sur six collectivités rurales de l'intérieur et du nord de la Colombie-Britannique a mis en évidence la façon dont chaque collectivité a subi de manières différentes les impacts des changements climatiques. Ces collectivités ont exprimé le besoin d'adopter différentes approches en matière de développement durable, qui mettent l'accent sur l'utilisation d'une approche adaptée au milieu et ancrée dans les contextes et les expériences locaux (Drolet et Sampson, 2017). Dans une étude examinant les pratiques exemplaires en matière de gestion pour l'adaptation aux impacts environnementaux des changements climatiques dans les collectivités agricoles de l'Alberta et de la Saskatchewan (situées dans les bassins versants de Swift Current Creek, Oldman River et Castle), les membres des collectivités ont souligné la nécessité d'intégrer les connaissances et les pratiques locales dans la planification du développement social durable. Les producteurs agricoles ont reconnu qu'en dépit de l'évolution des facteurs de stress météorologiques, ils ont été capables de s'adapter en appliquant les connaissances locales provenant des agriculteurs, des éleveurs, des groupes de gestion des bassins versants et des districts d'irrigation pour mettre au point des technologies, des pratiques et des stratégies de gestion nouvelles (McMartin et Merino, 2014).

3.3.5 Éclairer la prise de décision et la politique d'adaptation adaptées au milieu

Les systèmes de connaissances adaptées au milieu et les expériences vécues des individus et des collectivités dans les régions rurales et éloignées sont utilisés pour éclairer la prise de décision et les politiques en vigueur. Par exemple, un programme examinant les pratiques de gestion environnementale pour l'agriculture dans les régions rurales de la Saskatchewan a permis de constater que l'intégration des connaissances locales dans les discussions sur les incertitudes relatives aux changements climatiques

augmenterait le nombre de scénarios envisagés, contribuant ainsi à diminuer les préoccupations au sujet des politiques et à assurer la pertinence au point de vue régional (Hurlbert et Pittman, 2014). Dans les régions où les transformations du pergélisol altèrent les structures existantes, la recherche a mis en évidence le rôle que les connaissances locales et autochtones peuvent jouer dans les politiques relatives à l'environnement bâti (Ford et coll., 2015). Les systèmes de connaissances autochtones peuvent également offrir des perspectives et des possibilités d'action novatrices, qui vont au-delà des connaissances scientifiques occidentales et aident à mettre en évidence les priorités, à renforcer la compréhension et à faire progresser l'adaptation aux changements climatiques (GERARCC, 2018).

Malgré les connaissances importantes soulignées dans ce chapitre, il y a un manque de renseignements axés sur les répercussions des changements climatiques propres au milieu pour les personnes vivant dans les collectivités rurales et éloignées du Canada (Rapaport et coll., 2015). Bien que les changements environnementaux affectent les relations des populations locales avec le territoire et leurs connaissances à son sujet (Durkalec et coll., 2015; Harper et coll., 2015, 2012; Cunsolo Willox et coll., 2012), il est essentiel de continuer à soutenir les connaissances autochtones et locales et à en tirer parti pour comprendre la nature propre au contexte des impacts des changements climatiques dans les collectivités et les régions rurales et éloignées et y réagir efficacement (voir l'étude de cas 3.1).

Étude de cas 3.1 : La Nation Saugeen Ojibway et le suivi des impacts des changements climatiques sur le corégone

De nombreuses familles des Nations Saugeen Ojibway et Chippewas de Nawash dépendent étroitement des populations de corégones du lac Huron et de la baie Georgienne pour leur culture et leur subsistance. Avec l'augmentation de la vitesse des vents et la hausse des températures en raison des changements climatiques, les pêcheurs ont commencé à remarquer des changements chez les poissons de ces régions. L'Alliance Bagida-Waad a été fondée par ces collectivités de pêcheurs pour servir d'organisme de recherche local, dans le but d'établir une base de référence pour les populations de poissons, de suivre les impacts des changements climatiques sur le lac Huron et la baie Georgienne, et de recueillir le savoir autochtone des pêcheurs. La mise à profit des histoires et des expériences des pêcheurs et des aînés devrait aider la collectivité à renforcer sa capacité d'adaptation aux changements climatiques, ainsi qu'à préserver les systèmes de connaissances adaptées au milieu pour les générations futures (Johnson, 2019).

3.4 Les changements climatiques menacent les moyens de subsistance et les économies

Les changements climatiques ont déjà des répercussions sur de nombreux secteurs économiques et de nombreuses activités de subsistance dont dépendent les collectivités rurales et éloignées pour leur subsistance et leur bien-être économique. Des stratégies d'adaptation locales contribuent à protéger les économies traditionnelles par la planification et le renforcement des capacités, la modification des pratiques d'aménagement des terres et l'utilisation des technologies.

Les changements dans les conditions des glaces de mer et des océans, la hausse des températures et la sécheresse ont déjà un impact sur les secteurs économiques, comme l'agriculture, la foresterie, la pêche et le tourisme, ainsi que sur les activités de subsistance comme la chasse et la cueillette. Ces secteurs économiques et les activités qui s'y rattachent dépendent souvent de ressources naturelles sensibles aux changements climatiques et sont essentiels aux moyens de subsistance et au bien-être économique des collectivités rurales et isolées. Malgré les défis considérables qui se recoupent, les habitants et les organisations des nombreuses collectivités rurales et éloignées ont pris des mesures importantes pour protéger et adapter leurs moyens de subsistance, tout en encourageant de nouvelles options de développement, comme des projets d'énergie de remplacement. De nombreux résidents qui dépendent d'activités économiques de subsistance fondées sur le territoire ont également adopté des stratégies d'adaptation telles que la modification des périodes et des voies de déplacement, le recours à d'autres espèces cibles, l'utilisation de nouvelles technologies numériques et le recours à de solides réseaux sociaux pour mettre en commun la nourriture, l'équipement et les connaissances. Toutefois, ces stratégies ont souvent un coût financier et personnel et nécessitent un soutien et des soins pour éviter une mauvaise adaptation (c.-à-d. des gestes d'adaptation qui augmentent par inadvertance le risque de résultats indésirables).

3.4.1 Introduction

De nombreuses collectivités rurales et éloignées au Canada dépendent d'économies mixtes dans lesquelles les secteurs formels (basés sur l'argent ou les salaires) et informels (principalement non monétaires) jouent un rôle important. En outre, de nombreuses collectivités rurales et éloignées dépendent des industries des ressources naturelles comme l'agriculture, la foresterie, la pêche, l'énergie et l'exploitation minière pour leur base économique et pour soutenir leurs moyens d'existence (voir la figure 3.4; Drolet et Sampson, 2017). En retour, ces collectivités et leurs résidents apportent une contribution essentielle aux économies provinciales et nationales (Dampier et coll., 2016). Dans plus de 1 800 collectivités rurales et éloignées au Canada (dont la majorité compte 10 000 habitants ou moins), une moyenne de 30 % de la main-d'œuvre locale dépend des secteurs des ressources naturelles pour l'emploi (voir les figures 3.5 et 3.6). Les impacts actuels et potentiels des changements climatiques sur les secteurs des ressources naturelles, en particulier ceux qui n'ont pas encore élaboré ou mis en œuvre des stratégies d'adaptation, rendent donc de nombreuses collectivités rurales et éloignées économiquement vulnérables.

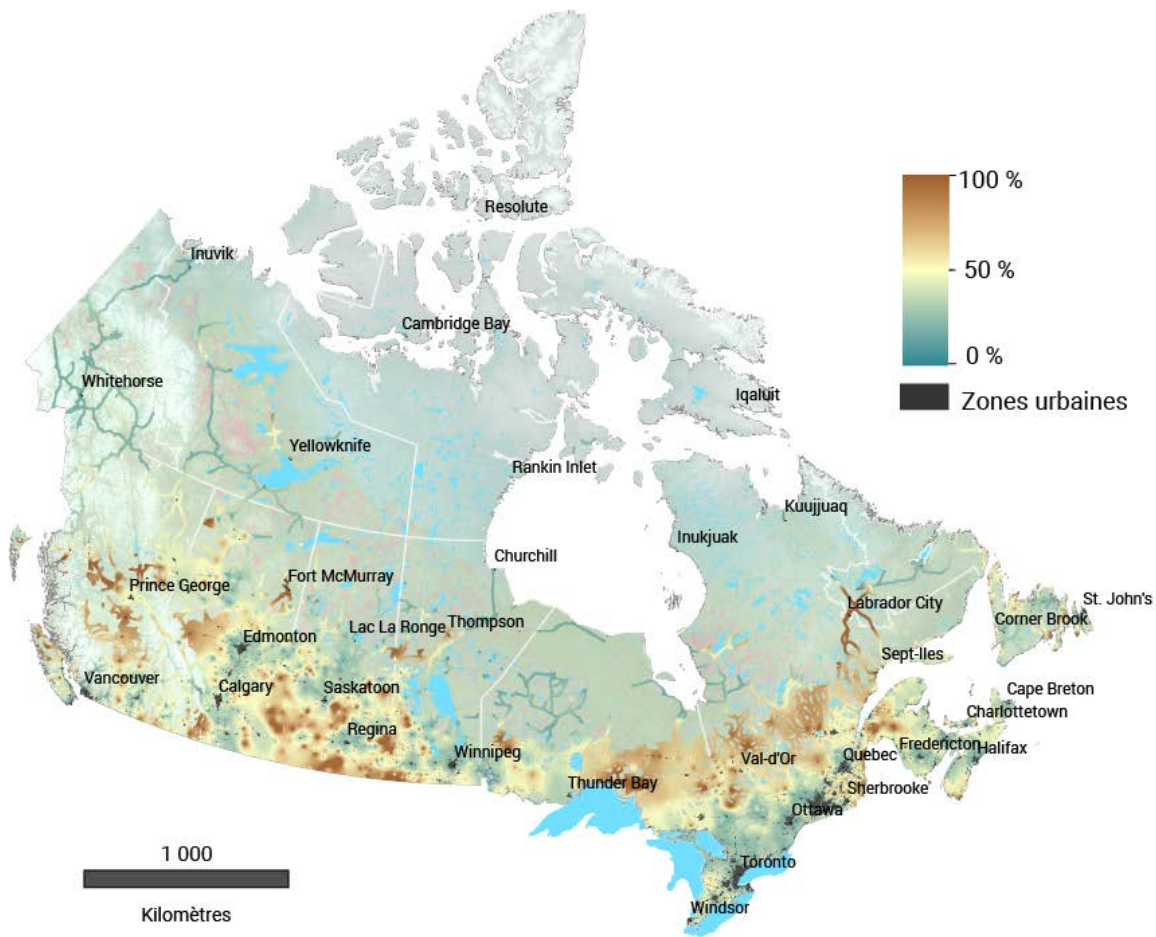


Figure 3.4 : Carte montrant la dépendance moyenne de la main-d'œuvre des collectivités dans l'ensemble du Canada à l'égard des secteurs des ressources naturelles pour la période allant de 2001 à 2016, notamment l'agriculture, la pêche, la foresterie, l'énergie et l'exploitation minière. Les couleurs sur la carte s'échelonnent du bleu au rouge, où le bleu indique une faible dépendance, principalement dans les grandes régions urbaines et leurs environs, et le rouge indique une forte dépendance, principalement dans les régions rurales et éloignées. La carte montre que les secteurs des ressources naturelles fournissent jusqu'à 50 à 100 % des revenus du secteur économique de base pour de nombreuses collectivités rurales et éloignées dans l'ensemble du Canada. Les secteurs économiques de base comprennent les ressources naturelles (pêche, agriculture, foresterie, minéraux, pétrole et charbon), les services publics, la construction et le secteur manufacturier. Source : Eddy et coll., 2020a, b.

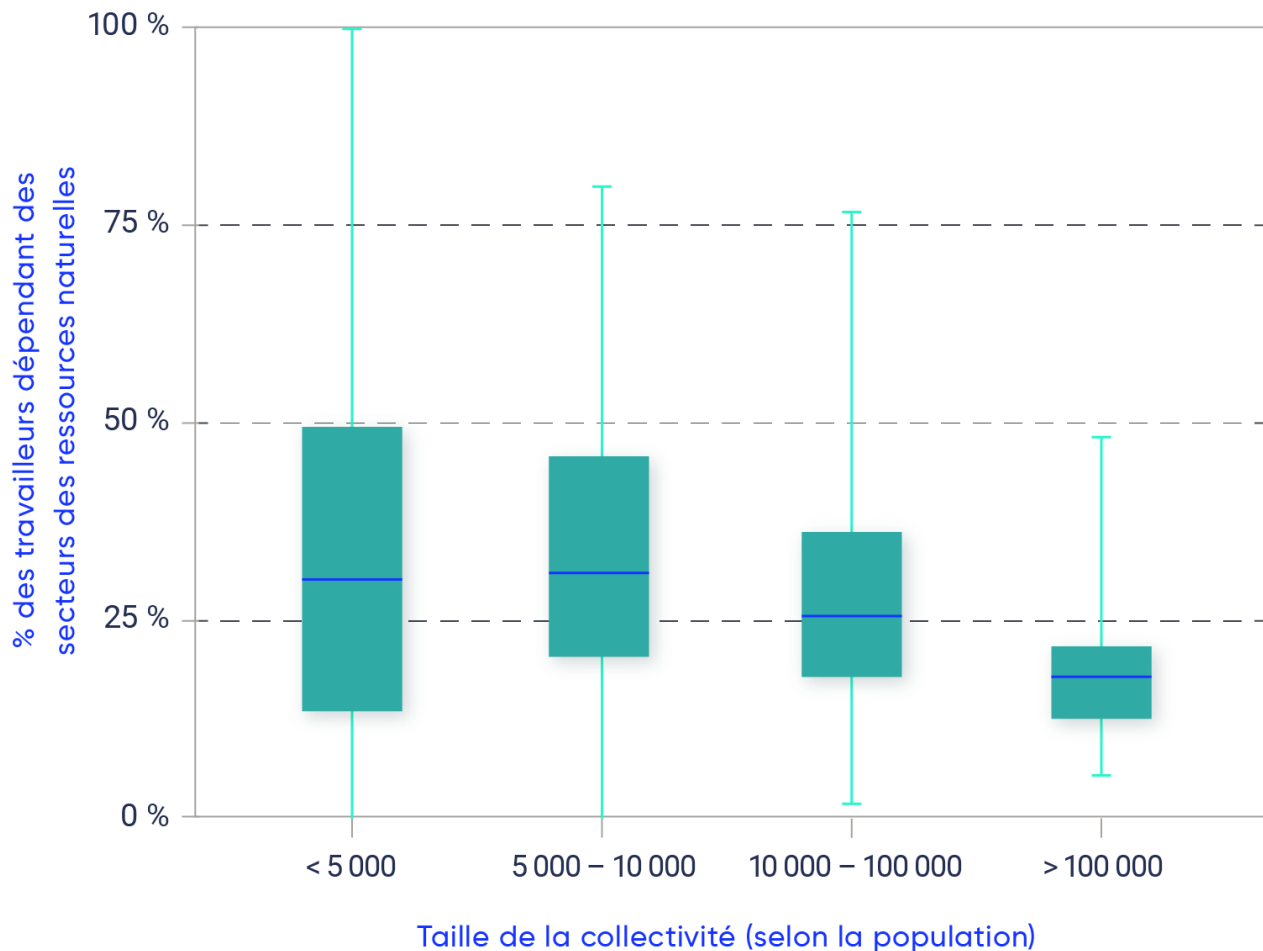


Figure 3.5 : Graphique illustrant la dépendance moyenne de la main-d'œuvre des collectivités de différentes tailles au Canada à l'égard des secteurs des ressources naturelles, en pourcentage du revenu du secteur économique de base, pour la période allant de 2001 à 2016. Les secteurs économiques de base comprennent les ressources naturelles (pêche, agriculture, foresterie, minéraux, pétrole et charbon), les services publics, la construction et le secteur manufacturier. Les collectivités sont regroupées en fonction de quatre tailles de population différentes : 1) moins de 5 000, 2) de 5 000 à 10 000, 3) de 10 000 à 100 000 et 4) plus de 100 000. Les cases indiquent les valeurs maximales et minimales pour 95 % des données, la ligne continue à l'intérieur de chaque case indique la valeur moyenne et les lignes verticales prolongeant les cases indiquent la plage complète des données. Le graphique montre que la main-d'œuvre des collectivités moins peuplées a tendance à être plus dépendante des secteurs des ressources naturelles que celle des collectivités plus peuplées. Source : Eddy et coll., 2020a, b.

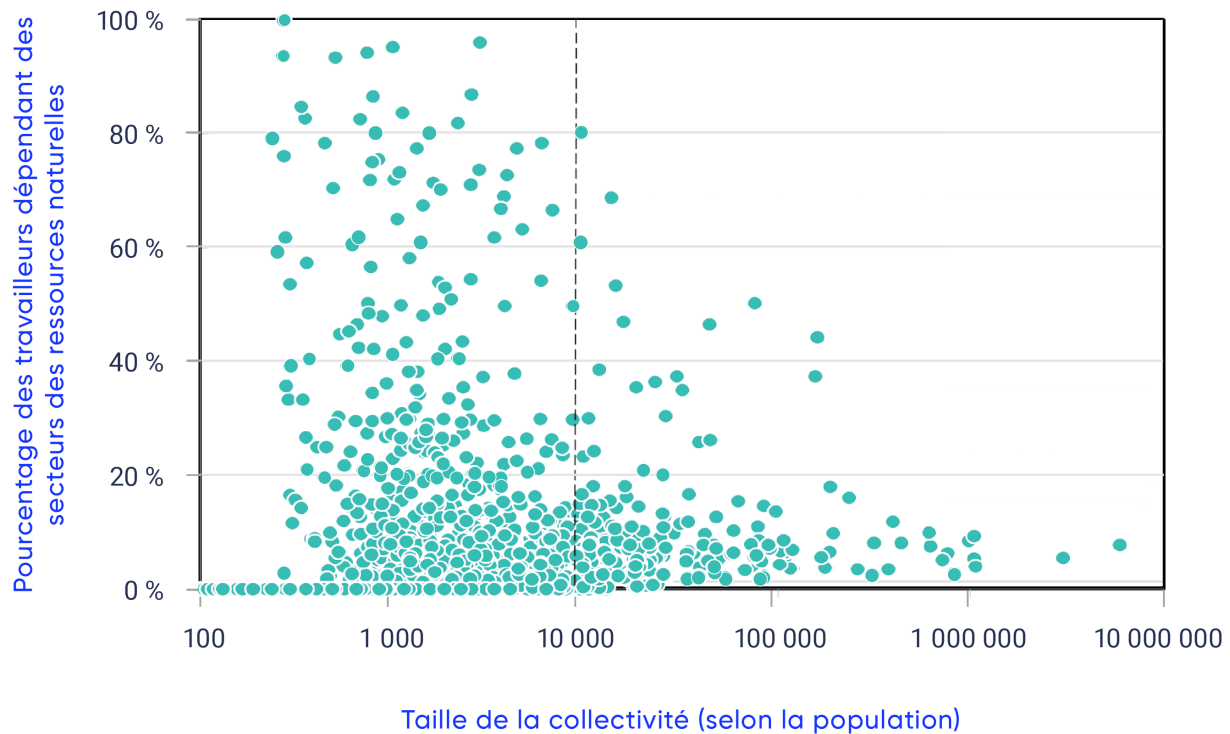


Figure 3.6 : Graphique illustrant la répartition de la dépendance moyenne de la main-d'œuvre à l'égard des secteurs des ressources naturelles, pour la période allant de 2001 à 2016, pour les collectivités du Canada dont la population varie de 100 à 10 000 000 de personnes. La dépendance de la main-d'œuvre est définie comme le pourcentage du revenu de la main-d'œuvre tiré des ressources naturelles par rapport au revenu total du secteur de base. Les secteurs économiques de base comprennent les ressources naturelles (pêche, agriculture, foresterie, minéraux, pétrole et charbon), les services publics, la construction et le secteur manufacturier. Chaque point du graphique représente une collectivité canadienne différente. La ligne verticale en pointillés illustre le seuil de population utilisé dans ce chapitre pour les collectivités considérées comme étant rurales ou éloignées (p. ex. les collectivités de 10 000 habitants ou moins). Le graphique montre que la main-d'œuvre des collectivités moins peuplées a tendance à être plus dépendante des secteurs des ressources naturelles que celle des collectivités plus peuplées. Source : Eddy et coll., 2020 a,b.

Les impacts des changements climatiques sur les économies informelles telles que la chasse, la pêche, le trappage et la cueillette menacent les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire. Les résidents comptent souvent sur ces activités culturellement importantes pour suppléer aux sources de revenus salariales dans les endroits où les perspectives d'emploi rémunéré peuvent être limitées (Kornfeld, 2016). En outre, lorsque l'accès aux aliments récoltés localement (p. ex. les aliments traditionnels) est restreint, les résidents sont souvent obligés de se tourner vers des produits coûteux et de qualité nutritionnelle inférieure achetés en magasin (Statham et coll., 2015). Plusieurs de ces collectivités se trouvent sur les territoires traditionnels des Premières Nations, des Inuits et des Métis dont les moyens de subsistance, la culture et le bien-être sont profondément liés à la santé de la terre et de l'eau (Gill et Lantz, 2014; Cunsolo Willox et coll., 2012). Cela rend ces populations plus vulnérables aux changements climatiques que les populations en milieu urbain (Kornfeld, 2016). Ces mêmes collectivités rurales et éloignées subissent souvent certains des

impacts les plus graves et les plus cumulatifs des changements climatiques. La dépendance aux ressources des écosystèmes signifie que les impacts des changements climatiques sur les économies et les moyens de subsistance des collectivités rurales et éloignées du Canada sont particulièrement prononcés.

3.4.2 Vulnérabilité et adaptation dans les secteurs des ressources naturelles

Les changements climatiques devraient accroître la vulnérabilité des économies tributaires des ressources naturelles en raison des impacts sur l'offre, la demande ainsi que sur les activités de récolte et de transformation. Par exemple, les variables climatiques (p. ex. la température et les précipitations) et les facteurs de stress météorologiques jouent un rôle important dans la durée de la saison de croissance, ainsi que dans les activités et la productivité agricoles, rendant ce secteur particulièrement vulnérable aux changements climatiques (Akkari et Bryant, 2016). Les extrêmes de température et les événements extrêmes ont affecté les conditions de croissance dans l'ensemble du pays. Bien que les étés plus chauds et plus secs et les phénomènes météorologiques extrêmes, notamment la sécheresse, les vagues de chaleur et les inondations, aient eu un impact négatif sur de nombreuses régions agricoles, l'allongement des saisons de croissance et l'augmentation du nombre de jours exempts de gel pourraient également offrir de nouvelles possibilités (Roussin et coll., 2015; McMartin et Merino, 2014). Les efforts déployés pour accroître la production alimentaire locale peuvent ainsi renforcer la sécurité alimentaire, créer de nouveaux emplois et de nouveaux revenus, et réduire la dépendance à l'égard des importations alimentaires, ce qui présente l'avantage connexe de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées au transport des importations et de réduire la vulnérabilité aux perturbations du système de transport (Roussin et coll., 2015). La recherche met en évidence la nécessité de veiller à ce que l'agriculture dans de nouvelles régions n'amplifie pas ou n'exacerbe pas les risques existants. Par exemple, la prudence serait de mise dans les régions où il existe des pénuries d'eau et une forte demande en eau pour l'irrigation des cultures, comme c'est le cas dans la région à proximité du barrage Oldman, en Alberta (Yusa et coll., 2015).

L'industrie forestière et les collectivités tributaires de la forêt sont touchées par de multiples impacts liés aux changements climatiques. L'épidémie du dendroctone du pin ponderosa, par exemple, a fourni une puissante illustration des menaces connexes (p. ex. la perte de bois marchand et d'emplois et de revenus commerciaux connexes) et des débouchés correspondants (p. ex. pour la transition économique et la production d'énergie à partir de la biomasse) (Drolet et Sampson, 2017; Furness et Nelson, 2016; Blanco et coll., 2015). Les changements climatiques affectent également la disponibilité des espèces de poissons exploitées commercialement et ont des répercussions sur les saisons et les lieux de pêche. Par exemple, on a observé une augmentation des espèces vivant dans des eaux plus chaudes comme le merlu argenté à Terre-Neuve-et-Labrador et le homard sur la plate-forme néo-écossaise (Bernier et coll., 2018). Les saisons de pêche du hareng sont également prolongées et il est maintenant nécessaire de naviguer plus loin au large pour pêcher la crevette en raison du réchauffement des eaux à proximité des côtes dans la péninsule acadienne (Vasseur et coll., 2017). Dans l'océan Pacifique, les stocks de poissons sont affectés par le réchauffement climatique, l'acidification de l'eau et les événements extrêmes tels que les vagues de chaleur marines. Par exemple, on croit que l'augmentation des températures océaniques a eu un impact négatif sur la survie, la taille et l'état du saumon quinnat, réduisant la taille et la valeur des prises (Holsman et coll., 2019).

Les changements climatiques ont également un impact sur le potentiel touristique des régions rurales et éloignées, dont beaucoup dépendent de plus en plus du tourisme comme composante de leur économie locale. Par exemple, les températures plus élevées, la modification de la dynamique des glaces de mer et les changements survenant dans la configuration des conditions météorologiques élargissent les possibilités existantes tout en ouvrant de nouvelles dans certains domaines (voir le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »). Cependant, l'augmentation du tourisme entraîne également des impacts directs et indirects qui nuisent aux écosystèmes et aux transports, tels que l'augmentation des déplacements aériens, du rejet d'eaux grises et des émissions de GES (Fonds mondial pour la nature, 2019; Stoddart et Sodero, 2015). Toutes les collectivités rurales et éloignées ne bénéficient pas de l'expansion ou de l'apparition des possibilités touristiques en raison des changements climatiques (voir le tableau 3.1). Par exemple, de nombreuses régions de ski subissent les effets négatifs des changements de configuration des conditions météorologiques, du raccourcissement des saisons hivernales et des changements dans les régimes de précipitations. En outre, elles sont de plus en plus dépendantes des équipements de fabrication de neige, ce qui augmente les coûts et la demande en eau (Hock et coll., 2019; Gilaberte-Búrdalo et coll., 2014). D'autres impacts, notamment la fonte du pergélisol, l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête, les inondations et l'érosion, entraînent la perte et la destruction d'artefacts de valeur et de sites patrimoniaux, tels que Fort Conger, au Nunavut (voir la section 3.2). Cela entraîne non seulement la perte du patrimoine culturel, mais compromet également les possibilités touristiques potentielles (Abram et coll., 2019; Meredith et coll., 2019; Dawson et Levy, 2016). D'autres exemples d'impacts et d'efforts d'adaptation pour chacun de ces secteurs des ressources naturelles sont fournis dans le tableau 3.1 (voir le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »).

Tableau 3.1 : Impacts des changements climatiques et mesures d'adaptation dans les secteurs ruraux et éloignés

SECTEUR	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	MESURES D'ADAPTATION
Agriculture et élevage	<ul style="list-style-type: none">• Le prolongement de la saison de croissance des cultures maraîchères ouvre de nouvelles perspectives agricoles dans la région de West Kootenay, en Colombie-Britannique, notamment l'augmentation possible du nombre de variétés de fruits et de légumes, l'utilisation de terres de moindre qualité pour des cultures de créneaux telles que les fruits de verger et les raisins, et la possibilité d'accroître l'agriculture mixte à petite échelle (Roussin et coll., 2015).• Les maigres ressources en eau s'épuisent davantage en raison de l'expansion du développement agricole dans les terres nouvellement cultivées (Yusa et coll., 2015).• Les pâturages sont affectés par des conditions plus sèches, plus extrêmes et plus difficiles à prévoir, ainsi que par l'augmentation des besoins en irrigation dans une grande partie de l'Ouest canadien (Hurlbert et Pittman, 2014).• Les vagues de chaleur augmentent les risques de mortalité des vaches laitières dans le sud de l'Ontario (Bishop-Williams et coll., 2016).	<ul style="list-style-type: none">• L'adaptation dans les exploitations agricoles repose sur quatre approches principales et souvent interdépendantes : le développement technologique, les programmes et les assurances offerts par le gouvernement, les pratiques agricoles et la gestion financière des exploitations (Akkari et Bryant, 2016).• Utiliser les données sur les assurances climatiques et les assurances-récolte pour évaluer les coûts et les risques et soutenir la planification agricole (Akkari et Bryant, 2016).• Changements dans les régimes de culture et les périodes d'ensemencement (McMartin et Merino, 2014).• L'agriculture de précision et d'autres méthodes de réduction de la consommation d'eau sont utilisées pour économiser l'eau, tout en maintenant les rendements des récoltes (Nicol et Nicol, 2018).• Utiliser les données climatiques et les projections des modèles climatiques en combinaison avec les informations sur les sols pour évaluer le potentiel agricole d'une région et planifier un changement dans la gamme et les types de cultures pratiquées (Roussin et coll., 2015).

SECTEUR	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	MESURES D'ADAPTATION
Agriculture et élevage (continué)	<ul style="list-style-type: none">• Dans la province de Québec, on s'attend à des baisses de rendement pour le blé, le soja, les petits pois, les oignons, les tomates et le chou (avec des conséquences potentielles sur les coûts de la production laitière). Cependant, les rendements du maïs, du sorgho, du canola, du tournesol, des pommes de terre, du tabac et des betteraves à sucre pourraient augmenter (Akkari et Bryant, 2016).• L'expansion continue vers le nord des superficies propices aux petites cultures céréalières devrait se poursuivre, en particulier dans le centre-nord du Canada, tandis que les déficits hydriques estivaux dans certaines régions boréales accéléreront les pertes de carbone dans les sols et diminueront leur qualité déjà limitée (King et coll., 2018).	<ul style="list-style-type: none">• Une gestion plus proactive de l'eau (McMartin et Merino, 2014).• Utiliser des pratiques environnementales de gestion agricole et d'infrastructures d'approvisionnement en eau pour réduire la vulnérabilité (Hurlbert et Pittman, 2014).• Surveiller les troupeaux plus fréquemment pendant les vagues de chaleur, utiliser des stratégies d'abaissement de la chaleur telles que les ventilateurs et les bains, et communiquer les alertes de vague de chaleur au moyen de divers canaux médiatiques (Bishop-Williams et coll., 2016).• Mettre en œuvre des changements nutritionnels et des techniques de reproduction améliorées (Rojas-Downing et coll., 2017; Climate Action Initiative, 2013).• Combiner le stockage de l'eau en hiver pour alimenter l'irrigation en été et développer des variétés de cultures adaptées à la sécheresse pour soutenir la production et l'expansion (King et coll., 2018).

SECTEUR	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	MESURES D'ADAPTATION
Foresterie	<ul style="list-style-type: none">• L'augmentation de la fréquence et de la gravité des sécheresses, l'augmentation du nombre de tempêtes de vent et les changements dans les saisons de croissance et d'autres changements ont réduit les revenus tirés des récoltes et augmenté les fluctuations dans l'approvisionnement en bois (Furness et Nelson, 2016).• Augmentation de la fréquence des feux de forêt, des superficies brûlées et des saisons des feux (Blanco et coll., 2015).• Augmentation des infestations d'organismes nuisibles et de maladies dans les forêts (p. ex. les conditions hivernales plus chaudes ont conduit à une épidémie du dendroctone du pin ponderosa qui a détruit plus de 18 millions d'acres de forêt en Colombie-Britannique depuis les années 1990, et on prévoit que l'aire de ravage du dendroctone continuera à s'étendre dans les forêts de pins du Nord et de l'Est du Canada) (Ressources naturelles Canada, 2018b).• Les pressions du marché et des politiques, dues à la prise de conscience des impacts des changements climatiques, en faveur des sources d'énergie qui réduisent les émissions de GES conduisent à l'utilisation de la biomasse ligneuse dans les projets de bioénergie (Blanco et coll., 2015).	<ul style="list-style-type: none">• Utiliser des guides pour évaluer la capacité d'adaptation et les mesures visant à renforcer les points forts des collectivités (p. ex. Reed et coll., 2014; Pearce et Callihoo, 2011).• Éclaircir et élaguer les forêts pour réduire les risques de feux de forêt et de sécheresse (Furness et Nelson, 2016).• Améliorer la surveillance de la santé des forêts et les interventions en cas de perturbations (p. ex. la coupe de récupération et les traitements) (Furness et Nelson, 2016).• Modéliser l'approvisionnement en bois futur en tenant compte des données climatiques (Furness et Nelson, 2016).• Modifier les stratégies de plantation de différentes espèces, essayer des semences de provenances diverses et garder un mélange de classes d'âge pour répartir les risques (Furness et Nelson, 2016).• Effectuer des recherches sur les impacts prévus et les changements qui pourraient être apportés et ajuster les programmes, les processus, les pratiques ou les structures de travail pour réduire la vulnérabilité (Furness et Nelson, 2016).• Produire de la biomasse ligneuse qui peut soutenir des projets locaux de bioénergie et réduire les émissions de GES à partir de la réduction de la densité de peuplement visant à réduire le risque de futurs feux incontrôlés (Blanco et coll., 2015).

SECTEUR	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	MESURES D'ADAPTATION
Pêches	<ul style="list-style-type: none">• La pêche au hareng est élargie, les crevettes sont plus au large en raison du réchauffement des eaux près des côtes, les homards sont plus gros en raison des hivers plus doux et les proies sont plus nombreuses dans la Péninsule acadienne, au Nouveau-Brunswick (Vasseur et coll., 2017).• La récolte de mollusques et de crustacés est plus difficile dans les régions qui connaissent une élévation du niveau de la mer (Vasseur et coll., 2017).• Les dommages causés aux infrastructures liées à la pêche sont particulièrement difficiles pour les collectivités qui n'ont pas la capacité financière de se doter de défenses côtières coûteuses ou de se relocaliser (Vasseur et coll., 2017).• La pêche au saumon du Pacifique subit les impacts de l'augmentation de la température océanique (Holsman et coll., 2019).	<ul style="list-style-type: none">• Des pêcheurs du Nouveau-Brunswick travaillent avec des scientifiques du gouvernement pour recenser les nouvelles espèces et prévoir les changements de la biodiversité, évaluer les risques liés aux infrastructures et améliorer les principales infrastructures de pêche, afin de renforcer la résilience aux tempêtes (voir le chapitre « Provinces de l'Atlantique »).• La réduction des quotas et la fermeture des pêches régionales sont utilisées pour gérer et soutenir les stocks de poissons en déclin (Dawson, 2019).
Tourisme	<ul style="list-style-type: none">• Une réduction de la durée et de l'étendue de la glace de mer dans l'Arctique canadien (Pizzolato et coll., 2014).• Un accroissement du potentiel touristique et des avantages économiques connexes, ainsi qu'une augmentation de la sensibilisation culturelle (Johnston et coll., 2017).	<ul style="list-style-type: none">• Services et des possibilités pour les touristes créés par les habitants des régions arctiques.• Accent mis sur les possibilités touristiques quatre saisons plutôt que sur les activités touristiques propres à la saison.

SECTEUR	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	MESURES D'ADAPTATION
Tourisme (continué)	<ul style="list-style-type: none">• L'augmentation du trafic des navires de croisière dans l'Arctique peut entraîner un réchauffement localisé (Messner, 2020).• Le déversement d'eaux grises ayant un impact sur les écosystèmes arctiques fragiles (Fonds mondial pour la nature, 2019).• Une diminution du manteau neigeux et des événements météorologiques imprévisibles (Bleau et coll., 2015).• Une réduction de la durée de la saison des sports hivernaux (Rutty et coll., 2017).• Une consommation d'eau élevée avec une augmentation de la fabrication de neige dans les stations de ski (Gerbaux et coll., 2020).• Une diminution du nombre de visiteurs dans les stations de ski en raison de la détérioration des conditions favorables aux activités sur neige (Rutty et coll., 2017).	<ul style="list-style-type: none">• Communication accrue avec les touristes pour les informer des événements météorologiques potentiels (Bleau et coll., 2015).• Achat des plus petites stations par de plus grandes entreprises plus aptes à s'adapter aux changements climatiques (Sorensen, 2016).• Plus grande dépendance à la fabrication de neige (Rutty et coll., 2017).• Accent mis sur les possibilités et les activités quatre saisons afin de réduire la dépendance aux activités propres à la saison (Rutty et coll., 2017).

3.4.3 Réactions et possibilités d'adaptation

Les résidents des collectivités rurales et éloignées ont adopté de nombreuses stratégies d'adaptation pour faire face aux impacts des changements climatiques (voir l'étude de cas 3.2), notamment en réaction aux transformations des économies de subsistance. Par exemple, l'adaptation liée à la chasse et à la sécurité alimentaire comprend la modification des voies de déplacement sur le territoire de chasse; la modification des habitudes de chasse en apprenant à chasser de nouvelles espèces lorsqu'il y a des changements dans la faune et les écosystèmes; l'augmentation de la préparation et des fournitures pour les expéditions de chasse; l'utilisation de nouvelles technologies numériques pour accroître la sécurité et le recours à des réseaux sociaux forts pour partager de la nourriture, de l'équipement et des connaissances (voir le tableau 3.2). Au Nunavut, par exemple, il y a eu des réductions dans la disponibilité et la qualité du caribou (p. ex. les caribous sont décrits comme étant plus maigres et moins gras), ainsi que des modifications dans les

déplacements migratoires vers des régions nécessitant de plus grands déplacements et ayant de plus grandes restrictions d'accès. Dans ces conditions, les chasseurs d'Ulukhaktok, région désignée des Inuvialuit, ont cessé de se concentrer sur la chasse au caribou pour se tourner vers la chasse au bœuf musqué. Les populations de bœufs musqués, qui sont en déclin, sont maintenant confrontées à une pression de récolte accrue, et les chasseurs doivent se déplacer plus loin pour obtenir plus ou moins de prises, ce qui entraîne un stress plus important pour les troupeaux et les personnes qui dépendent du bœuf musqué pour leur sécurité alimentaire (Fawcett et coll., 2017). Les itinéraires terrestres plus longs sont souvent plus exigeants pour l'équipement et nécessitent plus de planification et de fournitures (Durkalec et coll., 2015). En outre, des mesures telles que le remplacement des tentes en toile par des structures de cabine permettant de stocker des fournitures et de résister à des vents plus forts, ou le remplacement et l'achat d'équipement de sécurité souvent coûteux, ne sont pas envisageables pour tous (Archer et coll., 2017). De plus, les revenus tirés de la viande peuvent être réduits en dépit des coûts plus élevés de celle-ci. Les chasseurs ayant de faibles revenus, y compris les personnes sans emploi et les retraités qui dépendent de leur pension, sont particulièrement exposés à ce genre de difficultés (Statham et coll., 2015). De nouveaux risques pour la sécurité ont également été introduits, en particulier pour les chasseurs inexpérimentés, en raison de la nécessité d'emprunter des routes peu familières, de la dépendance à l'égard de technologies qui peuvent échouer ou qui échouent, et du fait que les motoneiges tombent en panne et sont coûteuses à réparer (Clark et coll., 2016 a, b). La réciprocité est également importante dans les réseaux sociaux, car les personnes qui ont plus de difficulté à récolter des aliments traditionnels (souvent en partie à cause des changements climatiques) peuvent devenir moins susceptibles de recevoir du soutien de leur collectivité ou de leur famille au fil du temps. Néanmoins, de nombreuses collectivités continuent à dépendre des réseaux de partage pour soutenir les économies de subsistance dans un climat en changement. Comme il y a moins de personnes qui chassent, de nombreux chasseurs approvisionnent un plus grand nombre de membres de la collectivité, bien que cela puisse représenter un défi de plus en plus important en raison de la diminution des prises et de la multiplication des facteurs de stress climatiques et environnementaux (Statham et coll., 2015).

Tableau 3.2 : Exemples de stratégies d'adaptation existantes et futures pour atténuer les impacts des changements climatiques sur les économies informelles dans les collectivités rurales et éloignées du Canada

STRATÉGIES D'ADAPTATION EXISTANTES	RÉFÉRENCES
Davantage de prudence et une meilleure préparation aux situations d'urgence, de sorte que les utilisateurs des terres soient aptes à passer la nuit et à se mettre à l'abri, à appeler de l'aide, au besoin, à demander des conseils supplémentaires aux aînés avant de partir, à consulter les images satellites de la glace de mer et des prévisions météorologiques, à emporter davantage de fournitures (p. ex. carburant, nourriture et combustible de cuisson, tente, pièces détachées, vêtements supplémentaires et munitions), et à entreposer des barils de carburant sur les terres pendant les mois d'hiver pour les déplacements par voie terrestre.	Clark et coll., 2016 a, b; Pearce et coll., 2015; Statham et coll., 2015
Modification des sentiers pour les déplacements ou des lieux de chasse ainsi que des modes de déplacement connexes (p. ex. bateaux abandonnés et déplacements terrestres en véhicule tout terrain).	Clark et coll., 2016 a, b; Pearce et coll., 2015; Statham et coll., 2015
Utilisation de nouvelles technologies pour faire face à des conditions changeantes et imprévisibles, combinée aux compétences et connaissances traditionnelles en matière de navigation (p. ex. systèmes de navigation par satellite et dispositifs d'intervention d'urgence par satellite, radios B.P. et très haute fréquence, téléphones par satellite et balises de détresse); utilisation généralisée de l'Internet (p. ex. médias sociaux pour partager de la nourriture et du matériel, consulter les prévisions météorologiques et les rapports concernant la glace de mer en ligne, demander de l'aide, coordonner des sorties non officielles de recherche et de sauvetage, relais de navigation par satellite); bateaux (p. ex. en aluminium) et structures (p. ex. des cabines, au lieu de tentes, équipées de poêles, de carburant et de provisions de base à des endroits stratégiques) plus robustes.	Archer et coll., 2017; Fawcett et coll., 2017; Clark et coll., 2016 a, b; Pearce et coll., 2015
Adapter la chasse en fonction des espèces disponibles (p. ex. le bœuf musqué au lieu du caribou, le caribou au lieu du phoque pendant les plus longues saisons de navigation, et les animaux terrestres au lieu des animaux marins pendant la dangereuse saison des glaces de mer).	Clark et coll., 2016 a, b; Pearce et coll., 2015; Statham et coll., 2015



STRATÉGIES D'ADAPTATION EXISTANTES	RÉFÉRENCES
Les chasseurs expérimentés prennent souvent des décisions adaptatives (p. ex. changer de sentier) et les partagent ensuite avec la collectivité par l'intermédiaire des réseaux sociaux.	Clark et coll., 2016 a, b
Une éducation et un renforcement des capacités qui consolident l'apprentissage basé sur les terres et la transmission des connaissances d'une génération à l'autre (p. ex. des ateliers sur les compétences traditionnelles, des programmes de prévention et des programmes pour les jeunes chasseurs).	Clark et coll., 2016 a, b
Vente de produits alimentaires traditionnels pour compenser l'augmentation des dépenses en équipement de chasse et en technologies de sécurité, facilitée par les marchés et les groupes issus des médias sociaux.	Statham et coll., 2015
Stratégies alimentaires des ménages, comme le passage à des aliments moins chers ou moins appréciés, la réduction de la consommation d'aliments, manger ailleurs (p. ex. chez un ami ou un membre de la famille) et la vente d'objets personnels.	Statham et coll., 2015
Partage au sein de la collectivité, commerce entre les collectivités et promotion du capital social (p. ex. le partage de la nourriture, de l'équipement, des connaissances).	Clark et coll., 2016 a, b; Statham et coll., 2015
Programmes alimentaires basés sur la collectivité.	Statham et coll., 2015
STRATÉGIES D'ADAPTATION FUTURES	RÉFÉRENCES
Surveillance continue de l'environnement à l'échelle des collectivités, consignation des observations systématiques des conditions environnementales qui s'inspirent des connaissances autochtones et des modes locaux de compréhension et d'interaction avec l'environnement.	Gouvernement du Canada, 2016; Gill et Lantz, 2014
Plans d'adaptation aux changements climatiques communautaires directement liés à des lieux spécifiques du paysage et surveillance continue propre à chaque lieu.	Gill et Lantz, 2014

STRATÉGIES D'ADAPTATION FUTURES	RÉFÉRENCES
Amélioration des programmes d'aide aux chasseurs et soutien à la génération et à la transmission de compétences chez les jeunes Inuits afin de leur permettre de se déplacer et de chasser dans des conditions changeantes.	Clark et coll., 2016 a, b
Amélioration de la sensibilisation aux finances et des compétences budgétaires pour aider à faire face aux stress liés à l'alimentation.	Statham et coll., 2015

La demande croissante pour des produits plus durables et à moindre intensité de carbone et des changements de politiques liées aux changements climatiques (p. ex. les crédits carbone) remettent en question les modes d'exploitation actuels des secteurs des ressources naturelles. Cela crée de nouveaux débouchés et encourage d'autres solutions de développement qui aident à la transition vers une économie locale plus durable (Drolet et Sampson, 2017). On peut citer à titre d'exemple les projets mentionnés ci-dessus dans les domaines de l'agriculture, de la foresterie, de la pêche et du tourisme, ainsi que les nouveaux projets énergétiques liés à la biomasse ainsi qu'à l'énergie éolienne et solaire (Dampier et coll., 2016; Kornfeld, 2016; Schroth et coll., 2015). Des projets d'énergie renouvelable hybride ont été déployés avec succès à Deer Lake et Fort Severn, en Ontario, et à Colville Lake, dans les Territoires du Nord-Ouest (Arriaga et coll., 2017). Ces efforts ont permis de réduire le recours aux combustibles fossiles et les déversements qui peuvent en découler, ainsi que les coûts de transport et les émissions de gaz à effet de serre. Si la mauvaise adaptation suscite certaines inquiétudes, notamment en ce qui concerne les impacts négatifs potentiels sur les écosystèmes, sur l'approvisionnement en biomasse et son accessibilité, sur les coûts de transport et, en particulier, sur la qualité de l'air résultant de la production d'énergie à partir de la biomasse, ces résultats négatifs peuvent être compensés par les avantages potentiels des systèmes d'énergie renouvelable (Blanco et coll., 2015). La formation professionnelle et les investissements locaux dans les nouvelles technologies, l'innovation et la planification de la transition pourraient être nécessaires pour soutenir la transition économique (Drolet et Sampson, 2017). L'attention portée aux « transitions équitables », qui nécessitent la collaboration, le respect, le soutien des travailleurs et le partage des coûts financiers pour construire un avenir durable pour les collectivités, est essentielle afin de pouvoir progresser (Gouvernement du Canada, 2018). Les exigences imposées par les gouvernements en matière de réduction de l'empreinte carbone des entreprises et les traités d'investissement vert comportant des engagements de réduction des GES, par exemple, peuvent soutenir de telles transitions (Kornfeld, 2016). Les analyses de la durée de vie et l'évaluation des périodes de récupération des coûts des initiatives visant la résilience aux changements et aux extrêmes climatiques ont également été reconnues comme des stratégies utiles (McMartin et Merino, 2014).

En résumé, les industries traditionnelles et les emplois connexes dont sont tributaires les collectivités rurales et éloignées sont confrontés à des menaces importantes qui sont reliées à des circonstances qui comportent un climat et un environnement en changement et qui sont exacerbées par ces derniers. Ces collectivités sont confrontées à des défis liés aux phénomènes météorologiques extrêmes, à l'élévation du niveau de la mer, au recul de la glace de mer, au déclin des sources de nourriture traditionnelles et aux changements dans les

populations des espèces cibles pour les secteurs de ressources. Pour surmonter ces défis, des collectivités ont pris des mesures importantes et souvent proactives pour protéger et adapter la récolte de subsistance et les industries basées sur les ressources naturelles qui soutiennent leurs moyens de subsistance. Toutefois, ces mesures d'adaptation ont toujours un coût et exigent de faire appel à du capital humain, social et financier. Il est nécessaire d'accorder une attention continue à la menace que représente une mauvaise adaptation, telle que la surexploitation des espèces ou les nouvelles activités agricoles qui ajoutent un stress excessif aux ressources locales en eau, en forêt et en sols. Un soutien supplémentaire à l'adaptation peut provenir de l'échange de connaissances et de technologies pour mieux prévoir les impacts et les changements, des investissements dans les mesures de résilience, et de la prestation d'expertise technique et de formation aux collectivités rurales et éloignées afin de fournir de nouvelles compétences et de nouvelles connaissances pertinentes à un environnement changeant. À plus long terme, il pourrait être nécessaire de soutenir des mesures plus importantes dans certaines circonstances, comme la retraite contrôlée (c'est-à-dire le déplacement délibéré et coordonné des personnes et des bâtiments à l'écart des sources de risques) en raison de l'élévation du niveau de la mer ou le développement de nouvelles ressources alimentaires et hydriques.

Étude de cas 3.2 : Programmes et partenariats gouvernementaux en Saskatchewan en soutien à l'adaptation à l'échelle des exploitations agricoles

Les producteurs agricoles jouent un rôle de premier plan dans l'innovation en matière d'intervention à la variabilité du climat. Ils mettent en œuvre des pratiques de gestion environnementale (telles que la mise en jachère, la création de brise-vent et l'installation d'infrastructures hydrauliques agricoles) et d'autres mesures (telles que le semis direct et la culture de nouvelles plantes comme le canola et les lentilles) qui réduisent la vulnérabilité des exploitations agricoles et des élevages aux impacts des changements climatiques, y compris la perte de revenus due à la sécheresse (Hurlbert et Pittman, 2014).

Certaines de ces innovations ont été soutenues par des programmes gouvernementaux, comme le Programme de gérance agroenvironnementale Canada-Saskatchewan (PGA) (PGA, s.d.) et le Programme d'infrastructures hydrauliques pour les productions végétales et animales (PIHPVA) (PIHPVA, s.d.). Chacun de ces programmes a aidé des milliers de projets ou de producteurs en Saskatchewan chaque année avec des projets à la ferme. Le PIHPVA contribue à faire face aux sécheresses en finançant des projets d'infrastructure tels que des étangs-réservoirs, des puits et des conduites d'eau qui améliorent l'accès à l'eau. Les gouvernements fédéral et provinciaux partagent les coûts avec le bénéficiaire (p. ex. l'agriculteur, l'éleveur ou la municipalité). Le PGA soutient la planification environnementale des exploitations agricoles et les pratiques de gestion bénéfiques qui contribuent à l'adaptation aux changements climatiques ou qui maintiennent ou améliorent les ressources en eau et la biodiversité (p. ex. en réduisant l'érosion des sols et en améliorant la gestion des pâturages).

Après une sécheresse de plusieurs années en 2008, les producteurs ont fait pression pour la décentralisation de l'administration des programmes du gouvernement fédéral vers les gouvernements provinciaux. Le gouvernement fédéral a continué à fournir l'expertise technologique et technique, et l'organisme à but non lucratif Provincial Council of Agriculture Development and Diversification Boards for Saskatchewan Inc. (PCAB) a travaillé avec les producteurs pour définir des pratiques de gestion bénéfiques et a servi d'organisme de réseautage pour encourager les interactions entre les institutions de gouvernance à plusieurs niveaux, y compris les fermes locales et les organisations de base. Cette transition a été jugée plus efficace sur le plan de l'adaptation localisée, mais elle nécessite également un leadership au niveau de base.

L'un des défis, en particulier au sein des municipalités rurales ne disposant pas d'une assiette fiscale suffisante pour investir dans des projets d'infrastructure, a été l'obligation pour les intervenants de fournir des fonds de contrepartie. L'irrégularité et l'incertitude du financement ont également découragé certains intervenants de profiter des programmes, et donc de mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Les ressources en personnel limitées au sein des organismes responsables et l'inertie politique constituent d'autres défis.

3.5 Les infrastructures et services essentiels sont à risque

Les infrastructures essentielles et les services connexes, en particulier dans les collectivités côtières rurales et éloignées, sont à risque de défaillance et de perturbation en raison de l'augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes. En réaction, de plus en plus de ces collectivités intègrent les considérations relatives aux changements climatiques dans la planification et la conception communautaires, et commencent à réimaginer, renforcer et reconstruire leur environnement bâti.

Les collectivités et les régions rurales et éloignées du Canada sont souvent confrontées à des infrastructures surexploitées et dégradées, à un retrait des programmes de services et à la centralisation des ressources et des services. L'accroissement de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, des inondations, de l'élévation du niveau de la mer, du dégel du pergélisol, des feux de forêt et d'autres changements liés aux changements climatiques exacerbent considérablement ces défis. Il en résulte que les réseaux de transport et d'énergie, la prestation de services et les infrastructures qui soutiennent les activités nécessaires à la vie quotidienne continuent de courir un risque accru de défaillance et de perturbation. En réaction à des conditions climatiques de plus en plus sévères et imprévisibles, les collectivités rurales et isolées élaborent des stratégies d'adaptation novatrices pour relever les défis locaux et régionaux. Ces stratégies comprennent la prise en compte, dans la planification des infrastructures et la planification communautaire, des changements climatiques, des infrastructures naturelles et de la nécessité d'avoir des collectivités durables et viables. De plus, dans le cadre de l'élaboration des stratégies d'adaptation, il est important de tenir compte

des projets qui réduisent le recours aux réseaux d'énergie et de transport vulnérables et dépendants des combustibles fossiles. Les technologies de l'information sont également utilisées pour mieux communiquer les risques de défaillance des infrastructures et d'interruptions de service liées aux changements climatiques, et pour documenter les ressources patrimoniales vulnérables et, dans certains cas, perdues.

3.5.1 Introduction

Dans l'ensemble du Canada, la capacité d'accéder convenablement aux infrastructures et aux services est une préoccupation croissante pour de nombreuses collectivités rurales et éloignées qui souffrent de la surexploitation et de la dégradation des infrastructures et du retrait de la prestation des services. Les changements des conditions environnementales posent des défis supplémentaires pour les infrastructures essentielles et communautaires dans les régions rurales (voir l'encadré 3.4; Berner et coll., 2016). Les phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. vents violents, augmentation des précipitations, sécheresse, tempêtes de verglas, vagues de chaleur et ondes de tempête), les inondations côtières et à l'intérieur des terres, l'élévation du niveau de la mer, le dégel du pergélisol et les feux de forêt ont un impact important sur l'environnement bâti dans ces milieux. La régionalisation et la réduction des services dans les collectivités rurales obligent les habitants à parcourir de plus longues distances pour obtenir des services, comme des soins médicaux, et, par conséquent, à dépendre de plus en plus de réseaux de transport vulnérables (p. ex. routes médiocres, saisonnières ou inexistantes, et manque d'options de transport de rechange). Les personnes appelées à intervenir dans les situations d'urgences sont également exposées à un risque accru en raison de la vulnérabilité des infrastructures rurales (Ministère de l'Environnement et du Changement climatique de la Nouvelle-Écosse, 2018). La prise en compte des impacts des changements climatiques dans les décisions de planification, de zonage et d'utilisation des terres est donc essentielle pour réduire les risques d'impacts climatiques qui affectent négativement les collectivités rurales et éloignées (Doberstein et coll., 2019).

Encadré 3.4 : Infrastructures essentielles et communautaires

Selon Sécurité publique Canada, les infrastructures essentielles sont « essentielles à la santé, à la sécurité ou au bien-être économique des Canadiens et des Canadiennes, ainsi qu'au fonctionnement efficace du gouvernement ». La perturbation de ces infrastructures « pourrait se traduire en pertes de vie et en effets économiques indésirables, et pourrait considérablement ébranler la confiance du grand public ». L'organisme propose dix secteurs d'infrastructures essentielles, dont la santé, les technologies de l'information et de la communication et le transport (Gouvernement du Canada, 2020). Les bâtiments municipaux, les installations de loisirs, les écoles et les magasins d'alimentation sont des exemples d'infrastructures communautaires (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017). Les installations telles que les bâtiments de loisirs ou les écoles ont souvent de multiples usages et contribuent grandement au fonctionnement et au bien-être des collectivités. Par exemple, à Tofino, en Colombie-Britannique, le centre communautaire a été construit en tenant compte de la préparation aux situations d'urgence. Il contient un générateur et des fournitures

pour servir les personnes déplacées par tout événement d'urgence, ainsi que pour accueillir des événements réguliers, des cours et des séances d'exercices (Studio 531, 2019). La perte ou l'endommagement de ces installations peut être désastreux (Lebel, 2014).

3.5.2 Systèmes de transport et d'énergie

Les infrastructures de transport, qui englobent les routes, les ponts, les chemins de fer, les pistes d'atterrissage, les voies de transport maritime et les sentiers, sont généralement considérées dans la documentation et par les intervenants des collectivités comme étant le type d'infrastructure le plus gravement touché par les changements climatiques. Les impacts sont particulièrement prononcés pour les routes de glace. Des données probantes suggèrent que la durée de vie des routes de glace a déjà été considérablement réduite; à l'avenir, la hausse des températures et l'augmentation des précipitations pourraient suffire à limiter la formation de routes de glace d'une épaisseur suffisante pour le transport de biens et de matériaux essentiels dans de nombreuses régions qui en dépendent aujourd'hui (Mullan et coll., 2017). Des projections récentes suggèrent que les dommages causés aux infrastructures par les inondations, l'érosion et la fonte du pergélisol liées aux changements climatiques sont susceptibles d'entraîner les coûts financiers les plus élevés pour les collectivités, et que les infrastructures telles que les routes, les ponts, les installations de gestion de l'eau et les systèmes de revêtement sont susceptibles de nécessiter le plus d'investissements (Fédération canadienne des municipalités et Bureau d'assurance du Canada, 2019; Fédération canadienne des municipalités, 2018a). Des recherches récentes suggèrent que, parmi les principales priorités en matière d'adaptation dans les collectivités rurales et éloignées, figure la nécessité de se pencher sur les impacts que les changements climatiques ont sur les infrastructures qui entraînent l'interruption des activités quotidiennes des résidents, comme faire les courses, rendre visite à la famille ou recevoir des soins médicaux (Manuel et coll., 2015).

Les réseaux électriques et les filières énergétiques sont une autre catégorie d'infrastructures rurales communément mentionnée comme étant à risque devant les changements climatiques, principalement en raison de lignes de transport d'énergie défaillantes, des coûts élevés du carburant et du transport, et des voies de transport vulnérables aux changements climatiques. De nombreuses collectivités éloignées du Canada dépendent uniquement de l'alimentation au diesel et un raccordement au réseau n'est souvent pas une option viable ou fiable. Il faut donc explorer d'autres solutions, comme les générateurs au gaz naturel et les sources d'énergie renouvelables produites localement (énergie éolienne, énergie solaire et chauffage par la biomasse) (Ressources naturelles Canada, 2018a; Knowles, 2016). La sensibilisation, les politiques et les programmes relatifs aux changements climatiques ont encouragé la mise au point de nouveaux projets d'énergie renouvelable et d'autres infrastructures visant à réduire la dépendance aux combustibles fossiles (Gouvernement du Canada, 2017; Province du Nouveau-Brunswick, 2016).

3.5.3 Variations régionales des impacts des changements climatiques sur les infrastructures

Alors que les collectivités rurales et éloignées de l'ensemble du Canada connaissent des conditions climatiques changeantes et variables, celles situées dans les régions nordiques du pays subissent des impacts plus prononcés sur les infrastructures en raison de l'augmentation rapide des températures, de la modification des régimes de précipitations, de l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes et de chaleur, de la fonte continue de la glace de mer, des glaciers et des calottes glaciaires de l'Arctique, de la hausse du niveau de la mer, de la fonte du pergélisol et de l'érosion côtière (Bush et Lemmen, 2019; GIEC, 2018). Ces conditions sont déjà évidentes et ont de graves impacts sur les infrastructures des collectivités nordiques (Berner et coll., 2016; Dawson et Levy, 2016; Ford et coll., 2015; Boyle et coll., 2013).

Dans les régions plus au sud, les collectivités rurales sont également préoccupées par des phénomènes météorologiques extrêmes qui ont des impacts immédiats et qui sont susceptibles de causer des dommages aux infrastructures essentielles, comme les inondations, les tempêtes de verglas et les vagues de chaleur (Félio, 2017; Caldwell, 2015). Les collectivités côtières rurales sont confrontées à des menaces supplémentaires d'inondation, d'élévation du niveau de la mer et d'érosion côtière qui ont un impact sur leurs infrastructures et leur vie (Arnold et Fenech, 2017; Vasseur et coll., 2017; Manuel et coll., 2015; Webster et coll., 2014). Par exemple, les bâtiments et les services qui sont essentiels à la vie quotidienne, tels que les logements, les établissements de santé, les centres communautaires, les bureaux de poste, les magasins d'alimentation et les installations de traitement de l'eau et des eaux usées, sont de plus en plus menacés de défaillance, notamment en raison des inondations et des phénomènes météorologiques extrêmes (Félio, 2017). Au Canada atlantique, par exemple, la perturbation de ces services et de l'accès aux infrastructures communautaires essentielles due aux changements des conditions climatiques accroît la vulnérabilité des collectivités vieillissantes (Krawchenko et coll., 2016; Manuel et coll., 2015). Les collectivités rurales et éloignées qui ne disposent que d'une ou de quelques routes pour accéder à leurs collectivités et en sortir, que ce soit dans les régions côtières ou éloignées, sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques, en raison de l'isolement potentiel lorsque les routes sont emportées par les eaux, ce qui peut avoir une incidence sur l'accessibilité à la nourriture et aux services (Mullan et coll., 2017; Krawchenko et coll., 2016; Vodden et coll., 2012).

3.5.4 Mesures d'adaptation et possibilités

Les collectivités rurales et éloignées ont adopté différentes approches pour adapter leurs infrastructures, qui sont souvent conçues en fonction de leurs besoins et de leurs contextes spécifiques (voir le tableau 3.3 et l'étude de cas 3.3). Ces approches comprennent l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures municipales actuelles, l'intégration des changements climatiques dans la planification communautaire, principalement par la mise à jour des codes, des pratiques et des conceptions, et la construction de nouvelles infrastructures ayant des durées de vie plus longues (Gouvernement du Canada, 2017; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Affaires autochtones et du Nord Canada, 2017). D'autres mesures peuvent consister à modifier les voies de transport d'urgence, à diversifier les sources d'énergie, à élaborer des plans

d'action locaux pour assurer la transition vers des économies à faible émission de carbone, et à utiliser la planification en faveur d'une croissance intelligente et de collectivités durables et viables. Il s'agit notamment des collectivités qui facilitent le vieillissement en santé, réduisent la dépendance à l'égard des déplacements quotidiens et reconnaissent l'utilisation des infrastructures naturelles (telles que les forêts et les zones humides) pour réduire les impacts des changements climatiques (Gouvernement du Canada, 2017, 2016; Gouvernement de l'Ontario, 2016; Krawchenko et coll., 2016; Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Manuel et coll., 2015).

Tableau 3.3. : Mesures d'adaptation concernant les infrastructures dans les collectivités rurales et éloignées du Canada

CATÉGORIES DE MESURES D'ADAPTATION*	DÉTAILS SUR LES MESURES D'ADAPTATION	ENDROITS OÙ LES MESURES D'ADAPTATION ONT ÉTÉ OBSERVÉES
Infrastructures vertes et planification de la durabilité	<ul style="list-style-type: none">• Intégrer les infrastructures vertes dans les nouveaux aménagements ruraux• Créer des collectivités-amies des aînés• Concevoir des collectivités plus compactes• Faire la transition vers les énergies renouvelables• Concevoir et mettre en œuvre des plans de gestion des déchets basés sur des pratiques exemplaires• Accroître les subventions gouvernementales pour les initiatives à faible intensité de carbone• Intégrer la planification de l'adaptation dans les plans municipaux de développement durable• Intégrer l'efficacité énergétique dans la conception des bâtiments• Développer des pratiques de planification stratégique	C.-B., N.-B., T.-N.-L., N.-É., Nt, T.N.-O., Ont., Yn et à l'échelle nationale



CATÉGORIES DE MESURES D'ADAPTATION*	DÉTAILS SUR LES MESURES D'ADAPTATION	ENDROITS OÙ LES MESURES D'ADAPTATION ONT ÉTÉ OBSERVÉES
Planification communautaire et zonage	<ul style="list-style-type: none">• Intégrer les changements climatiques dans la planification des nouvelles infrastructures• Entreprendre la cartographie des plaines inondables et des risques d'inondation• Améliorer les normes de construction en s'appuyant sur les connaissances autochtones en matière de conception des bâtiments• Entreprendre des évaluations de la vulnérabilité au niveau des collectivités• Construire des murs et des digues• Consolider les lignes de transport d'énergie• Améliorer les installations de traitement• Mettre en œuvre des restrictions et des considérations relatives à l'utilisation des terres• Intégrer la planification « protéger, accommoder, reculer ou éviter » dans les considérations relatives à l'utilisation des terres et au zonage	Alb., N.-B., T.-N.-L., N.-É., T.N.-O., Î.-P.-É., Qc et à l'échelle nationale
Autres options de transport	<ul style="list-style-type: none">• Utiliser le transport ferroviaire et les pistes cyclables• Modifier les temps de transport pour qu'ils correspondent aux conditions climatiques changeantes• Mettre en œuvre des changements dans les itinéraires de transport d'urgence• Explorer de nouvelles options pour réduire le recours aux routes de glace	N.-É., T.N.-O., Ont. et à l'échelle nationale

CATÉGORIES DE MESURES D'ADAPTATION*	DÉTAILS SUR LES MESURES D'ADAPTATION	ENDROITS OÙ LES MESURES D'ADAPTATION ONT ÉTÉ OBSERVÉES
Diversification des sources d'énergie	<ul style="list-style-type: none">• Raccorder les collectivités aux réseaux centraux• Étudier la viabilité des sources d'énergie renouvelable• Mettre en œuvre des systèmes hybrides d'énergie renouvelable, conçus et installés de manière collaborative, avec une alimentation de secours au diesel• Développer des systèmes autonomes d'énergie renouvelable	Nt, T.N.-O., YK, Ont., C.-B., T.-N.-L. et à l'échelle nationale
Utilisation des technologies à des fins d'adaptation	<ul style="list-style-type: none">• Créer des répliques virtuelles de sites fragiles, éloignés et d'une grande valeur culturelle• Utiliser les technologies multimédias pour communiquer les risques liés aux changements climatiques	N.-B., Nt

*Les catégories de mesures d'adaptation sont énumérées dans l'ordre de fréquence où elles sont mentionnées dans la documentation.

Pour les collectivités côtières rurales et éloignées, les mesures d'adaptation possibles incluent le revêtement et la construction de nouveaux murs et de digues pour les protéger contre les impacts des hautes vagues et des inondations (Vasseur et coll., 2017; Hatcher et Forbes, 2015). Dans l'ensemble du Canada, les collectivités rurales et éloignées transforment leurs infrastructures énergétiques en développant des sources d'énergie renouvelable et en connectant les collectivités à des réseaux plus centralisés, là où cela est possible (Arriaga et coll., 2017; Mortensen et coll., 2017). Les rénovations énergétiques des habitations et des installations municipales, ainsi que les efforts visant à réduire la dépendance aux combustibles fossiles pour le transport ainsi que le chauffage et la cuisine des ménages, sont des mesures d'adaptation qui peuvent également réduire les émissions de GES, diminuer le stress sur les infrastructures fragiles, telles que les routes d'hiver, et générer des économies (Climate Action Revenue Incentive Program, 2017; Assemblée législative du Yukon, 2017; Hatcher et Forbes, 2015).

La contribution potentielle des technologies de l'information et des médias numériques à l'adaptation dans les collectivités rurales et éloignées est également étudiée de diverses manières. Par exemple, le District d'aménagement de Tantramar, au Nouveau-Brunswick, a utilisé des cartes SIG basées sur les technologies de l'information et des animations d'inondation en 3D pour mieux communiquer à ses résidents les risques climatiques liés aux inondations et aux défaillances des infrastructures (Lieske et coll., 2014). Dans d'autres

régions, les bâtiments patrimoniaux et culturels, les sentiers et les sites où la défaillance d'infrastructures physiques a déjà eu lieu (ou auxquels on ne peut accéder sans risque de blessure) sont reconstruits numériquement (voir la section 3.2; Dawson et Levy, 2016).

Bien que les collectivités trouvent des moyens innovants pour s'adapter, certains défis continuent d'entraver les progrès en matière d'adaptation aux changements climatiques. Ceux-ci comprennent les coûts élevés des investissements en infrastructures et un déficit d'infrastructures déjà existant. Pour les collectivités dont les revenus moyens sont faibles ou dont l'assiette fiscale est limitée, des mesures telles que la relocalisation des maisons en raison de l'érosion ou la construction de murs de protection peuvent ne pas être abordables, de sorte que les mesures d'adaptation se limitent souvent à des mesures temporaires (Fédération canadienne des municipalités, 2018b; Vasseur et coll., 2017). Le manque de données climatiques, de modèles climatiques régionaux, et une cartographie des risques d'inondation inadéquate et dépassée, combinés à un manque de personnel local formé pouvant travailler avec les renseignements disponibles sur les changements climatiques, ont conduit à des difficultés de compréhension et de communication des risques liés aux changements climatiques (Mortensen et coll., 2017; Dawson et Levy, 2016). Même lorsque les collectivités sont en mesure d'accéder à ces renseignements, la mémoire institutionnelle à court terme peut être source de préoccupation (Ford et coll., 2017; Ford et coll., 2015). Par exemple, de nombreuses collectivités des régions nordiques ont souvent un taux de roulement du personnel élevé. Quand il y a des changements chez les gestionnaires, les grands projets d'infrastructure pluriannuels peuvent être modifiés, annulés ou considérablement retardés (Ford et coll., 2017). Les collectivités ont besoin d'un soutien pour renforcer leur préparation à l'adaptation et établir la gouvernance, la culture et les tendances sociales (également appelées « infrastructures douces ») nécessaires pour améliorer la compréhension des investissements dans les infrastructures « dures » et rendre ceux-ci possibles (Pagano et coll., 2018). La plupart des collectivités du Canada connaissent bien ces défis. Malheureusement, les collectivités rurales et éloignées ressentent souvent les impacts exacerbés de ces défis en raison de leur éloignement et des limitations et des coûts connexes de transport et d'infrastructure.

Étude de cas 3.3 : L'adaptation aux perturbations de transport et de service dans les collectivités vieillissantes de la Nouvelle-Écosse

Les changements climatiques et les phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. les vents violents, les ondes de tempête et les inondations) causent des dommages aux voies de transport essentielles, qui sont nécessaires à la prestation des services et aux interventions d'urgences sanitaires et environnementales. En même temps, la province prévoit une augmentation de la demande de services d'urgence en raison de ces facteurs, ce qui est encore compliqué par le vieillissement démographique de la province (Climate Change Nova Scotia, 2018a, b; Krawchenko et coll., 2016).

En réponse, les représentants provinciaux travaillent avec des planificateurs et des gestionnaires pour élaborer des stratégies de réacheminement des voies de transport et mettre à jour les normes de conception afin de garantir que les changements climatiques soient pris en compte dans les nouveaux projets (Climate

Change Nova Scotia, 2018a). À l'échelle locale, les autorités municipales utilisent des cartes des inondations pour avertir les futurs promoteurs des risques prévus liés aux ondes de tempête et aux inondations qui en découlent.

À Annapolis Royal, par exemple, les cartes des inondations ont montré que la caserne de pompiers de la ville risque d'être coupée du reste de la collectivité en cas d'inondation prévue par les ondes de tempête (voir la figure 3.7). Le service d'incendie a pu utiliser ces informations et adapter son plan d'intervention d'urgence, qui comprenait l'achat d'un bateau et la redistribution dans toute la collectivité de matériel de sauvetage (Ressources naturelles Canada, 2015).

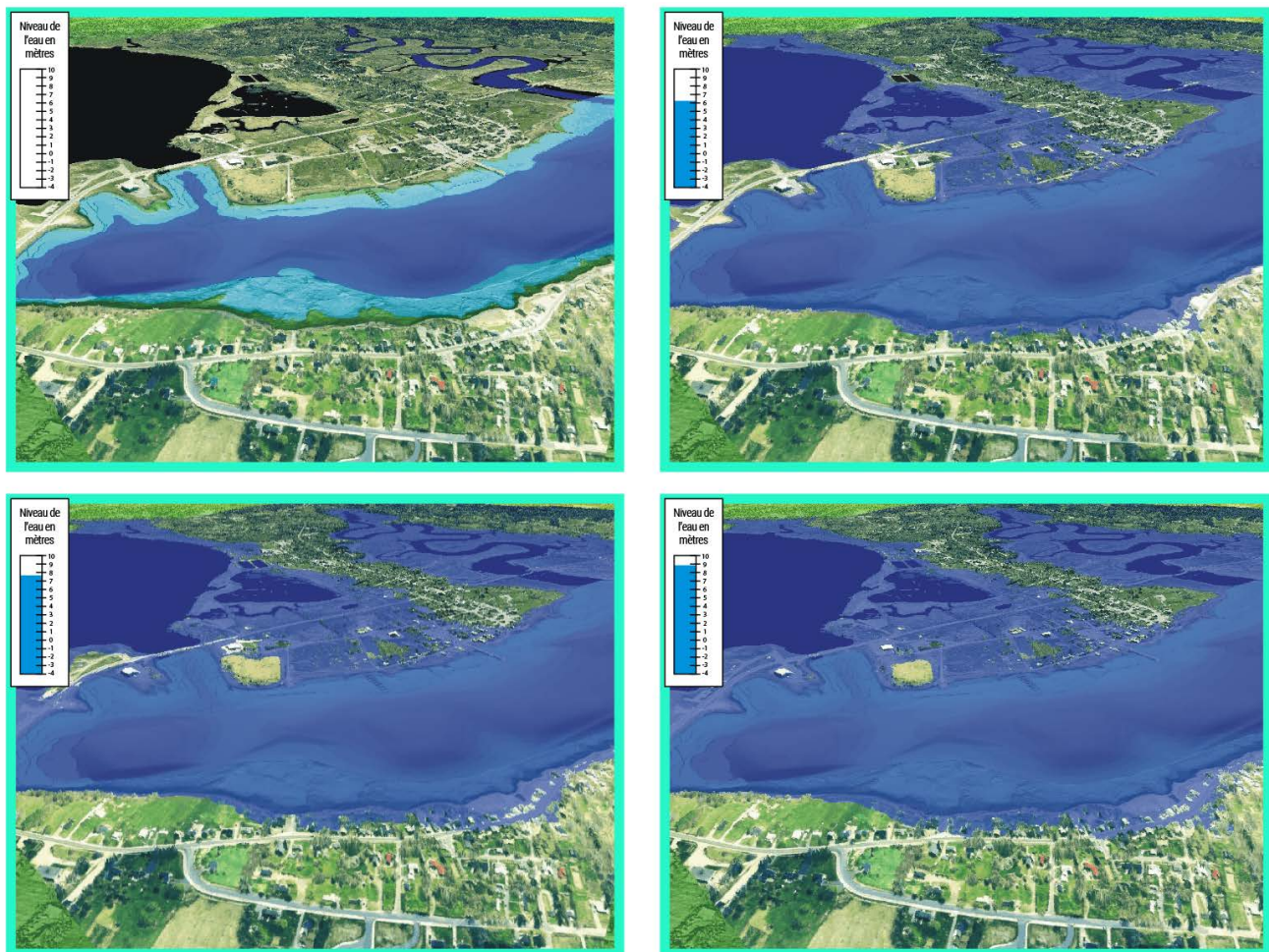


Figure 3.7 : Cartographie des risques d'inondation à Annapolis Royal, Nouvelle-Écosse. Source : Webster et coll., 2010.

3.6 Les changements climatiques ont un impact négatif sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités²

Dans les collectivités rurales et éloignées, la santé et le bien-être sont fortement influencés par les environnements socioculturels et physiques. Les changements climatiques ont un impact négatif sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités, tant directement qu'indirectement. La réduction des risques, l'adaptation aux impacts des changements climatiques et la concrétisation des avantages connexes de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) offrent d'importants débouchés au secteur de la santé.

Dans les régions rurales et éloignées, un grand nombre de personnes et de collectivités ont un lien étroit avec l'environnement. Ce lien a pour conséquence que les changements climatiques affectent la santé et le bien-être des êtres humains de nombreuses façons. Les défis pour la santé humaine liés aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées comprennent les difficultés d'accès à une alimentation et à une eau saines, l'apparition de nouvelles maladies et l'aggravation de maladies existantes, les blessures ou les décès causés par des événements météorologiques extrêmes et des conditions changeantes, et les défis croissants pour la santé mentale liés aux incertitudes environnementales. Les collectivités rurales et éloignées ont déjà commencé à élaborer et à réaliser des plans d'adaptation en matière de santé. Pour que ces collectivités puissent continuer à s'adapter aux impacts des changements climatiques sur la santé, il est important que les décideurs à tous les ordres de gouvernement prennent en compte le contexte propre aux collectivités, notamment l'âge, le sexe et la composition culturelle et socio-économique, qu'ils s'appuient sur les connaissances locales et les soutiennent, et qu'ils envisagent la santé humaine dans le cadre des environnements sociaux, culturels et physiques des régions rurales et éloignées.

3.6.1 Introduction

Dans les régions rurales et éloignées, la santé et le bien-être de la population sont souvent influencés par le lien étroit que les résidents et les collectivités entretiennent avec leur environnement social, culturel et physique (Cunsolo et Ellis, 2018; GERARCC, 2018; Agence de la santé publique du Canada, 2017; GIEC, 2014). De nombreuses collectivités rurales et éloignées, en particulier les collectivités autochtones, dépendent étroitement de la terre pour leur subsistance et leurs pratiques culturelles, ce qui influence de plusieurs façons les déterminants sociaux de la santé et du bien-être (Cunsolo et Ellis, 2018; GERARCC, 2018; Cunsolo Willox et coll., 2015; GIEC, 2014). En conséquence, les changements climatiques entraînent des impacts directs (p. ex. des blessures lors de phénomènes météorologiques extrêmes) et indirects (p. ex. une mauvaise

2 Une version modifiée de cette section a été publiée sous les noms de Kipp, A., Cunsolo, A., Vodden, K., King, N., Manners, S. et Harper, S.L. (2019). Climate Change Impacts on Health and Well-being in Rural and Remote Regions Across Canada: A Synthesis of the Literature. *Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada: Special Issue on Climate Change*, 39(4): 122–126. doi : 10.24095/hpcdp.39.4.02.

nutrition causée par un changement d'accès à certains aliments) sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités (voir la figure 3.8; GERARCC, 2018; Berner et coll., 2016; Durkalec et coll., 2014; GIEC, 2014).



Figure 3.8 : Les changements climatiques ont des conséquences sur la santé et le bien-être des personnes vivant dans des collectivités rurales et éloignées.

Parmi les exemples d'impacts négatifs sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités des régions rurales et éloignées, on peut citer la prévalence et la gravité accrues des phénomènes météorologiques extrêmes (GERARCC, 2018; Gouvernement de la Saskatchewan, 2017; Rapaport et coll., 2015; Ford et coll., 2014; GIEC, 2014); des changements à la glace de mer, de la végétation, des poissons, de la faune et de l'eau (GERARCC, 2018; GIEC, 2018; Clark et Ford, 2017; Ford et coll., 2014; GIEC, 2014) et des incertitudes météorologiques et environnementales (Young et coll., 2016; Cunsolo Willox et coll., 2015; GIEC, 2014). Les retombées négatives sur la santé associées à ces changements comprennent une prévalence accrue de la mauvaise nutrition, de l'obésité et du diabète (GERARCC, 2018; Barbeau et coll., 2015; Loring et Gerlach, 2015), des maladies à transmission vectorielle et d'origine hydrique et alimentaire (GERARCC, 2018; Loring et Gerlach, 2015; Ford et coll., 2014), des maladies cardiovasculaires (Barbeau et al, 2015; Loring et Gerlach, 2015; Harper et coll., 2011), les difficultés respiratoires (Dodd et coll., 2018 a, b), les blessures et la mortalité (Clark et Ford, 2017; Young et coll., 2016; Ford et coll., 2014), et les problèmes de santé mentale (Cunsolo et Ellis, 2018; Dodd et coll., 2018 a, b; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Cunsolo Willox et coll., 2015; Statham et coll., 2015). Les caractéristiques des régions rurales et éloignées qui peuvent accroître la sensibilité à ces risques comprennent leur éloignement géographique et leurs infrastructures de transport limitées, leur dépendance à l'égard des ressources naturelles, l'insuffisance en ressources des infrastructures sociales et physiques, la capacité limitée du système de santé due en partie au nombre réduit de professionnels de la santé qui vivent et travaillent dans ces régions, des infrastructures sanitaires et un accès limité aux ressources de santé, et une capacité d'intervention d'urgence réduite (GERARCC, 2018; GIEC, 2014).

La vulnérabilité aux changements climatiques est influencée par l'intersection de facteurs démographiques, sociaux, culturels et politiques dans les collectivités rurales et éloignées, ainsi que par les caractéristiques et les circonstances individuelles (GERARCC, 2018; Drolet et Sampson, 2017; Krawchenko et coll., 2016; GIEC, 2014). Par ailleurs, la documentation souligne que le fait de faire partie d'un peuple autochtone, l'âge, le sexe et le statut socio-économique (voir l'encadré 3.2) sont des facteurs clés qui ont une incidence sur la vulnérabilité des personnes et des collectivités face aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées.

3.6.2 Disponibilité et accessibilité des sources d'eau et d'aliments nutritifs privilégiés

De nombreuses collectivités rurales et éloignées ont connu une modification de l'accès aux aliments et à l'eau et de la qualité de ces derniers en raison de changements environnementaux, comme la hausse des températures (Medeiros et coll., 2017; Berner et coll., 2016; Loring et Gerlach, 2015), la modification des régimes de précipitation et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes (Dodd et coll., 2018 a, b; Medeiros et coll., 2017; Berner et coll., 2016). Par exemple, dans de nombreuses collectivités éloignées des Premières Nations et des Inuits vivant dans le Nord, les perturbations de la glace de mer, de la faune et de la végétation liées aux changements climatiques ont un impact sur la capacité des individus à chasser, à pêcher et à rechercher de la nourriture, ce qui entraîne une diminution de la consommation d'aliments locaux sains et culturellement privilégiés ainsi qu'une dépendance accrue à l'égard des aliments vendus au détail (Dodd et coll., 2018 a, b; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Medeiros et coll., 2017; Berner et coll., 2016; Loring et Gerlach, 2015). La sécurité de l'approvisionnement en eau peut

également poser un défi aux collectivités rurales et éloignées, où la hausse des températures et la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes peuvent submerger les fragiles systèmes de traitement de l'eau et interrompre l'approvisionnement en eau potable (Medeiros et coll., 2017; Berner et coll., 2016) (voir le chapitre « [Ressources en eau](#) »). Dans l'ensemble du Nord du Canada, où de nombreuses collectivités dépendent des sources d'eau de surface, des changements dans les niveaux d'eau, le ruissellement, les régimes d'écoulement et l'accumulation de sédiments peuvent gravement affecter la disponibilité et la qualité de l'eau potable (Bakaic et Medeiros, 2017; Medeiros et coll., 2017). Les insécurités alimentaires et hydriques ont toutes deux été liées à des répercussions négatives sur la santé, dont la mauvaise nutrition, l'obésité, le diabète, les maladies cardiovasculaires, les maladies gastro-intestinales aiguës et les problèmes de santé mentale (Berner et coll., 2016; Harper et coll., 2015; Loring et Gerlach, 2015; Ford et coll., 2014).

3.6.3 Maladies infectieuses et aggravation des maladies chroniques existantes

La modification des régimes de précipitations, la hausse des températures et l'augmentation de la fréquence et de la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes peuvent également exacerber les maladies chroniques et les maladies infectieuses dans les collectivités rurales et éloignées en augmentant l'exposition aux contaminants environnementaux et aux maladies à transmission vectorielle et d'origine alimentaire et hydrique. Ces modifications peuvent également accentuer le stress lié aux maladies chroniques sous-jacentes (p. ex. maladies cardiovasculaires et respiratoires) (Dodd et coll., 2018b; Agence de la santé publique du Canada, 2017) et perturber la prestation des soins de santé et la gestion des maladies chroniques (Cunsolo Willox et coll., 2015). Des recherches ont également fait état d'un risque accru de maladies d'origine hydrique dans les collectivités rurales et éloignées en raison des contaminations liées aux conditions météorologiques (GERARCC, 2018; Harper et coll., 2015). La variation des vents, des courants océaniques et des cours d'eau transportant des contaminants environnementaux dans le Nord peut également entraîner une augmentation des niveaux de polluants organiques persistants et de métaux lourds toxiques dans les sources alimentaires et hydriques locales des régions polaires éloignées (voir le chapitre « Nord du Canada » ; Medeiros et coll., 2017; Berner et coll., 2016; Loring et Gerlach, 2015). La consommation de contaminants peut entraîner de nombreuses préoccupations sanitaires (Medeiros et coll., 2017; Berner et coll., 2016; Loring et Gerlach, 2015).

3.6.4 Risque accru de blessure et de mortalité

Les conditions météorologiques extrêmes et en évolution rapide, notamment les vagues de chaleur, les tempêtes, les sécheresses, les inondations et l'évolution de l'état de la glace de mer, ont eu des effets négatifs importants sur la santé des personnes vivant dans les collectivités rurales et éloignées. Par exemple, les feux de forêt et les problèmes de santé qui y sont associés, tels que les problèmes respiratoires, les facteurs de stress sur la santé mentale et les dommages causés aux infrastructures sanitaires essentielles, ont été reconnus dans les collectivités forestières du Canada comme étant des menaces pour la sécurité et le bien-être (voir l'étude de cas 3.4 et le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »; Dodd

et coll., 2018 a, b; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Gouvernement de la Saskatchewan, 2017). Les collectivités nordiques et éloignées ont constaté une augmentation du nombre de décès et de blessures dus aux changements des conditions météorologiques et de la glace de mer, ce qui entraîne des conditions de déplacement peu sécuritaires ou peu familières et une dépendance à l'égard de technologies qui peuvent tomber et tombent effectivement en panne (p. ex. motoneiges en panne et systèmes de navigation défectueux) (Clark et coll., 2016 a, b).

3.6.5 Impacts sur la santé mentale et le bien-être

À mesure que les environnements changent et que les personnes s'adaptent à de nouvelles conditions, souvent peu souhaitables, la santé mentale et le bien-être des personnes vivant dans des collectivités rurales et éloignées sont également affectés. Par exemple, les résidents des collectivités autochtones des régions rurales et éloignées du Canada entretiennent souvent un lien profond avec la terre qui assure leur bien-être. Puisque les changements climatiques modifient l'environnement, l'accès aux lieux et aux pratiques d'importance culturelle est souvent perturbé (Cunsolo et Ellis, 2018; Cunsolo et coll., 2017; Cunsolo Willox et coll., 2015; Ford et coll., 2014). Pour les Inuits du Nunatsiavut, par exemple, ces changements ont entraîné une augmentation de l'anxiété, de la peur, de la détresse, de la colère, du chagrin et de la dépression liés aux modifications des activités en lien avec la terre, du lien entretenu avec celle-ci et de l'identité culturelle (Cunsolo et Ellis, 2018; Cunsolo et coll., 2017; Harper et coll., 2015; Lament for the Land, 2014). Des plans régionaux au Manitoba rattachent la perte potentielle de moyens de subsistance associée à la sécheresse à une préoccupation en matière de santé mentale susceptible aux changements climatiques (Gouvernement du Manitoba, 2017). Au Canada atlantique, on a établi un lien entre l'augmentation de la prévalence et de la gravité des tempêtes dans les collectivités côtières rurales ainsi que les dommages subséquents aux infrastructures importantes avec les défis en matière de santé mentale, qui diffèrent souvent selon le sexe (Vasseur et coll., 2015).

3.6.6 Mesures d'adaptation et possibilités

Malgré ces défis, le fait de se concentrer sur l'adaptation aux changements climatiques, la réduction des risques et la concrétisation des avantages connexes de la réduction des émissions de GES offre un débouché important pour le secteur de la santé. Déjà, de nombreuses collectivités rurales et éloignées du Canada ont commencé à élaborer et à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation en matière de santé (voir le tableau 3.4). Pour soutenir l'adaptation aux impacts des changements climatiques sur la santé, les suivantes modifications recommandées soient apportées aux stratégies d'adaptation existantes :

- utiliser de multiples systèmes de connaissances qui sont propres aux contextes socioculturels;
- prendre en compte les facteurs non climatiques qui ont un impact sur l'adaptation;
- utiliser des formes innovantes de technologies;

- améliorer et intégrer la surveillance sanitaire à la surveillance environnementale;
- soutenir les pratiques de développement durable;
- renforcer la sensibilisation aux risques et aux interventions;
- élargir les connaissances sur les impacts des changements climatiques;
- développer la capacité du secteur de la santé à réagir aux changements climatiques.

En fin de compte, pour que les collectivités rurales et éloignées puissent continuer à s'adapter aux impacts sanitaires des changements climatiques, il est important de prendre en compte des éléments locaux et régionaux, économiques et géographiques spécifiques, de soutenir l'expertise existante des personnes et des collectivités dans les régions rurales et éloignées du Canada et d'en tirer parti, et de continuer à envisager la santé humaine dans le cadre des environnements socioculturels et physiques des collectivités rurales et éloignées.

Tableau 3.4. : Exemples de stratégies d'adaptation existantes et potentielles aux impacts sanitaires négatifs des changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées du Canada

EXEMPLES DE STRATÉGIES D'ADAPTATION EXISTANTES	RÉFÉRENCES
Introduire des systèmes locaux de production alimentaire	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Barbeau et al, 2015; Loring et Gerlach, 2015
Utiliser les connaissances fondées sur l'expérience des collectivités locales pour soutenir leur résilience	Cunsolo et Ellis, 2018; Cunsolo Willox et coll., 2015; Ford et coll., 2014
Élaborer des programmes communautaires de surveillance et de recherche pour recueillir des données sur l'environnement et la santé afin d'éclairer la prise de décision	Dodd et al, 2018; GERARCC, 2018; Berner et al, 2016; Cunsolo Willox et al, 2015; Harper et al, 2015
Utiliser les connaissances autochtones et les connaissances locales à propos de l'environnement physique pour soutenir la prévention des dangers et la préparation aux situations d'urgence	Clark et Ford, 2017; Young et coll., 2016; Ford et coll., 2014



EXEMPLES DE STRATÉGIES D'ADAPTATION EXISTANTES	RÉFÉRENCES
Utiliser une approche de développement social qui fait intervenir des professionnels de la santé, des travailleurs sociaux et des personnes travaillant dans des professions de soins qui soutiennent les personnes directement touchées par les changements climatiques afin de renforcer les capacités des collectivités	Drolet et Sampson, 2017
Favoriser les facteurs de protection de la santé physique et mentale par le recours à des activités propres à la terre, aux arts et à l'artisanat et aux possibilités de rapprochement entre les collectivités	Cunsolo et coll., 2017
EXEMPLES DE STRATÉGIES D'ADAPTATION POSSIBLES	RÉFÉRENCES
Utiliser les connaissances locales, autochtones ou occidentales pour s'adapter de manière à prendre les mesures appropriées aux contextes socioculturels locaux spécifiques	Drolet et Sampson, 2017; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Berner et coll. 2016; Ford et coll. 2014
Éliminer les obstacles sociaux à l'adaptation (p. ex. la pauvreté, l'inégalité, les préoccupations en matière de logement, etc.) et réduire les facteurs non climatiques (p. ex. les maladies chroniques)	GERARCC, 2018; Drolet et Sampson, 2017
Utiliser des formes innovantes de technologies (p. ex. la télésanté, les applications de surveillance mobile, l'imagerie par satellite)	GERARCC, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017
Améliorer la surveillance en matière de santé publique et faire progresser les programmes de contrôle	GERARCC, 2018; Bakaic et Medeiros, 2017; Medeiros et autres, 2017; Berner et autres, 2016; Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Young et autres, 2016; Barbeau et autres, 2015; Durkalec et autres, 2015; Ford et autres, 2014
Soutenir les pratiques de développement durable (p. ex. les programmes d'énergie propre)	Drolet et Sampson, 2017; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Ford et coll., 2014

EXEMPLES DE STRATÉGIES D'ADAPTATION POSSIBLES	RÉFÉRENCES
Améliorer la communication et la sensibilisation relatives aux risques et aux interventions (p. ex. des listes d'espaces sûrs, des brochures concernant les éclosions de maladies, l'élaboration de stratégies en matière d'activités de sensibilisation)	Dodd et coll. 2018; GERARCC, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Ford et coll. 2014
Élargir les connaissances sur les impacts sanitaires des changements climatiques grâce à la recherche et aux investissements, et partager les pratiques exemplaires d'adaptation en matière de santé publique	GERARCC, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Province du Nouveau-Brunswick, 2016
Améliorer la capacité des systèmes de santé et d'intervention d'urgence à supporter les risques climatiques et à y réagir (p. ex. en concevant des conseils techniques et des cours de formation, en intégrant les changements climatiques dans la formation médicale et de santé publique)	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Young et coll., 2016

Étude de cas 3.4 : Composer avec les impacts sanitaires des feux de forêt dans les Territoires du Nord-Ouest

Dans les Territoires du Nord-Ouest, l'été 2014 a été l'une des pires saisons de feux de forêt jamais enregistrées, avec des épisodes de fumée prolongés et une mauvaise qualité de l'air. Une étude portant sur les expériences des individus de quatre collectivités subarctiques a révélé les impacts, sur la santé physique, émotionnelle et mentale, à court et à long terme d'une exposition prolongée à la fumée et à l'isolement (Dodd et coll., 2018 a, b). Bien que des épisodes de fumée prolongés aient été liés à un prolongement du temps passé à l'intérieur et à des problèmes respiratoires, les personnes interrogées ont également indiqué que leurs expériences d'évacuation et d'isolement, ainsi que leurs sentiments de peur, de stress et d'incertitude, avaient eu un impact négatif sur leur bien-être mental et émotionnel. Dans de nombreux cas, il y a également eu des impacts sur les activités liées à la terre, avec des répercussions sur le bien-être des individus et des collectivités. Les entrevues ont également révélé que les collectivités ont élaboré des stratégies d'adaptation qui comprenaient des ateliers éducatifs et des programmes d'activité physique pour aider à réduire les risques pour la santé. Néanmoins, il semble évident qu'il existe un besoin d'améliorer la coordination et la communication à l'échelle locale et territoriale pour mieux se préparer aux futurs feux de forêt et réduire les impacts sanitaires qui en résultent.

3.7 Les changements climatiques entraînent des pertes et des dommages immatériels

Les impacts des changements climatiques entraînent un large éventail de pertes et de dommages immatériels dans de nombreuses collectivités et régions rurales et éloignées, y compris la perte d'identité, de continuité culturelle et de sentiment d'appartenance. Ces pertes et dommages immatériels devraient être généralisés et cumulatifs, et il est essentiel d'en tenir compte dans l'adaptation aux changements climatiques et dans les politiques correspondantes.

Dans les régions rurales et éloignées, les résidents et les collectivités ont souvent des liens sociaux et culturels étroits avec l'environnement. Par conséquent, lorsque le climat change, les personnes et les collectivités des régions rurales et éloignées peuvent voir leur identité, leur culture et leur sentiment d'appartenance en subir les impacts. Les changements climatiques contribuent à ces pertes et dommages par plusieurs voies, notamment par des changements dans les pratiques et les identités culturelles, des changements dans le tissu social des collectivités rurales et éloignées, ainsi que la détérioration et la destruction des paysages et des espaces d'importance culturelle et sociale. L'adaptation à ces impacts négatifs a déjà commencé puisque les individus et les collectivités en sont venus à comprendre les liens entre les changements climatiques et l'identité, la culture et le lieu qui leur sont propres. À mesure que les lieux d'importance sociale et culturelle se transforment de manière nouvelle, des recherches plus approfondies sont nécessaires pour comprendre comment ces changements affecteront le tissu culturel et social des collectivités, ce qui englobe les pratiques et les identités culturelles, le partage et les liens sociaux, ainsi que la signification des lieux et l'attache à ces lieux.

3.7.1 Introduction

Les résidents et les collectivités vivant dans les régions rurales et éloignées ont souvent des liens sociaux et culturels forts avec leur environnement, qui influencent de nombreuses façons l'identité, la continuité culturelle et le sentiment d'appartenance. On peut trouver des exemples de ce sentiment d'appartenance au lieu dans les collectivités autochtones éloignées dans l'ensemble du Canada, où de nombreuses personnes dépendent de la terre sur le plan de la culture et du bien-être, et pratiquent des activités culturelles liées à la terre, notamment la chasse, la pêche et la cueillette de baies (Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Harper et coll., 2015; Loring et Gerlach, 2015; Pearce et coll., 2015; Ford et coll., 2014). Elle est également présente dans des régions rurales à travers les prairies, où les membres des collectivités agricoles ont souvent un fort héritage associé à l'agriculture et des contacts personnels quotidiens avec leur terre (McMartin et Merino, 2014). Ce sentiment d'appartenance au lieu ou au territoire se reflète également dans d'autres collectivités rurales ou de petites villes, telles que les collectivités côtières et forestières, où les identités individuelles et collectives sont souvent liées aux paysages locaux et à la dépendance aux ressources naturelles (Dodd et coll., 2018 a, b; Vasseur et coll., 2017).

Les changements climatiques et les impacts environnementaux connexes entraînent des pertes et des dommages immatériels de grande ampleur dans de nombreuses collectivités rurales et éloignées (voir la figure 3.9; Cunsolo et Ellis, 2018; Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012). Plus précisément, des

études récentes ont examiné comment les changements climatiques perturbent les pratiques culturelles associées à la terre (p. ex. chasse, couture, déplacement sur la glace de mer, etc.) (Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Loring et Gerlach, 2015; Pearce et coll., 2015; Ford et coll., 2014), modifient la transmission des connaissances autochtones d'une génération à l'autre (Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Durkalec et coll., 2015; Ford et coll., 2014), limitent l'accès aux lieux d'importance culturelle (p. ex. camps de chasse, sources d'eau douce, etc.) (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Cunsolo Willox et al, 2015, 2013a, b, 2012) et endommagent ou détruisent des paysages et des sites d'importance culturelle et sociale (p. ex. des sites patrimoniaux et archéologiques) (Vasseur et coll., 2017; Dawson et Levy, 2016). Ces changements liés aux changements climatiques sont encore exacerbés par les changements non climatiques qui affectent également l'identité, la continuité culturelle et le sentiment d'appartenance, dont le vieillissement des populations, l'exode rural vers les milieux urbains et l'adoption de technologies à faible main-d'œuvre.

Bien que les impacts des changements climatiques sur l'identité, la continuité culturelle et le sentiment d'appartenance soient vécus différemment par chaque personne et chaque collectivité, les thèmes dominants concernent les changements dans les pratiques et l'identité culturelles, la modification du tissu social des collectivités rurales et éloignées, ainsi que la détérioration et la destruction des paysages et des sites d'importance culturelle et sociale.

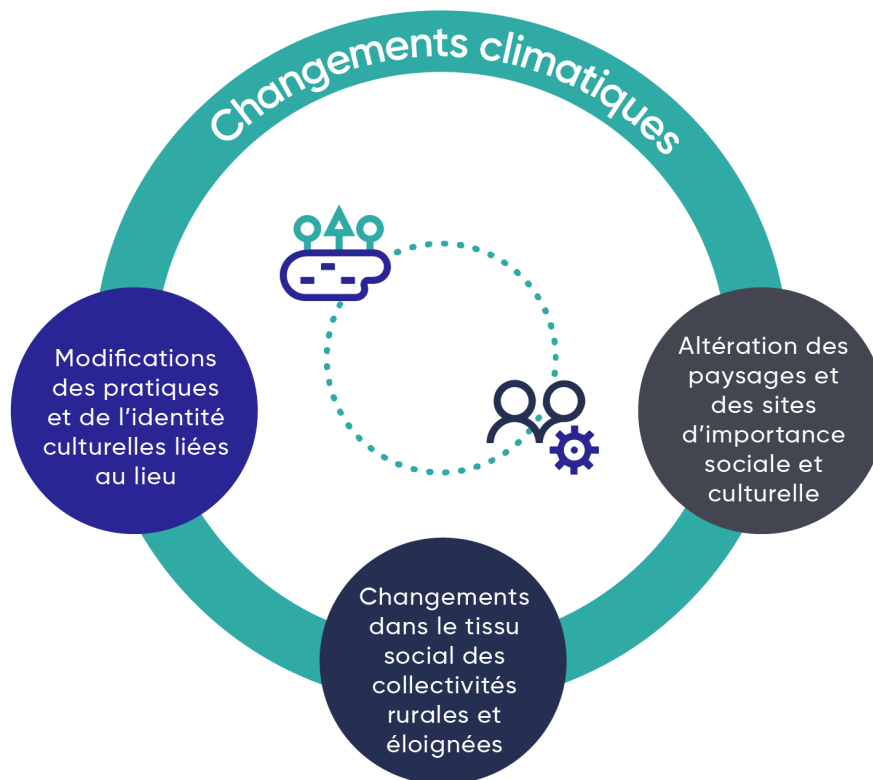


Figure 3.9 : Résumé des pertes et dommages immatériels liés aux changements climatiques sur l'identité, la continuité culturelle et le sentiment d'appartenance dans les collectivités et régions rurales et éloignées du Canada.

3.7.2 Transformation des pratiques et de l'identité culturelles liées au lieu

Les liens profonds que les résidents et les collectivités des régions rurales et éloignées partagent avec leur environnement naturel signifient que nombre de leurs pratiques culturelles sont fortement liées à la terre. Par exemple, dans de nombreuses collectivités inuites éloignées, le fait de passer du temps sur le territoire et de participer à des activités liées à la terre a une valeur culturelle et spirituelle importante, contribue à l'identité et à l'autonomie culturelle des Inuits et offre des possibilités de transmission des connaissances d'une génération à l'autre (Clark et coll., 2016b; Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Durkalec et coll., 2015; Harper et coll., 2015; Pearce et coll., 2015). Les conditions climatiques changeantes qui modifient l'environnement naturel, telles que les changements des saisons de récolte, des espèces et de la flore sauvages, des médecines traditionnelles et des cours d'eau, peuvent perturber les pratiques culturelles de plusieurs façons (Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Harper et coll., 2015).

Les collectivités autochtones des régions rurales et éloignées sont particulièrement exposées au risque de subir des changements culturels en raison des changements climatiques. Par exemple, les changements climatiques ont eu un impact sur les activités de subsistance qui revêtent une importance culturelle dans de nombreuses collectivités autochtones, comme la chasse, la pêche, le trappage, la cueillette de baies, la collecte d'eau et, par la suite, la consommation d'aliments ayant une importance culturelle et d'eau (Boulangier-Lapointe et coll. 2019; Archer et coll., 2017; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Cunsolo Willox et coll. 2015, 2013a, b, 2012; Harper et coll. 2015; Pearce et coll. 2015; Ford et coll. 2014; Hanrahan et coll. 2014). Ces activités sont perturbées à mesure que des changements se produisent, notamment l'amincissement de la glace de mer, le réchauffement des températures et l'augmentation de la fréquence des tempêtes, et ont un impact sur la capacité des Inuits à passer du temps au sein de ces paysages changeants (GERARCC, 2018; Clark et coll., 2016b; Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Durkalec et coll., 2015; Odland et coll., 2015; Pearce et coll., 2015; Ford et coll., 2014).

Les changements climatiques ont également un impact sur la capacité des détenteurs du savoir autochtone et des aînés à utiliser leurs connaissances de la terre dans les régions rurales et éloignées, car les connaissances passées deviennent moins applicables aux conditions actuelles (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017). Ces changements modifient le sens attribué aux lieux et l'attachement à ceux-ci, affaiblissent la transmission des connaissances, érodent les compétences liées à la terre et perturbent l'identité et la continuité culturelles (Clark et coll., 2016b; Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Durkalec et coll., 2015; Pearce et coll., 2015; Ford et coll., 2014). Il existe peu de recherches, de manière plus générale et dans le contexte canadien, concernant les impacts des changements climatiques sur les pratiques culturelles des individus et des collectivités dans les régions rurales et éloignées (p. ex. dans les communautés agricoles, côtières, forestières et montagneuses). Toutefois, la documentation internationale indique qu'il s'agit d'un domaine de préoccupation important (Cunsolo et Ellis, 2018; Casanova-Pérez et coll., 2016; Hall et coll., 2016; Cunsolo Willox, 2012; Wolf et coll., 2012). Il est donc nécessaire de poursuivre les recherches et de s'engager davantage pour explorer les dimensions culturelles des changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées de tout le Canada.

3.7.3 Changements dans le tissu social des collectivités rurales et éloignées

Les changements climatiques influencent également le tissu social des collectivités rurales et éloignées, qui comprend les personnes vivant dans ces régions, les interactions entre ces personnes et la distribution et l'utilisation des espaces et des services sociaux (Krawchenko et coll., 2016). Un exemple de modification des dimensions sociales provoquée par les changements climatiques au sein des collectivités peut être observé dans le bassin hydrographique de Swift Current Creek, à Saskatoon, où la sécheresse associée aux changements climatiques a entraîné des facteurs de stress économiques et sociaux (McMartin et Merino, 2014). La structure socio-économique des collectivités rurales et éloignées, pouvant comprendre une main-d'œuvre différenciée en fonction du sexe, des économies en déclin, de faibles niveaux de scolarité, la migration des jeunes, la distance les séparant des décideurs et la dépendance à l'égard des ressources naturelles, peut accroître la vulnérabilité des personnes et des collectivités aux impacts sociaux négatifs des changements climatiques (Vasseur et coll., 2015). Par exemple, dans la collectivité rurale côtière de Sainte-Flavie, au Québec, il a été déterminé que les dommages causés par les tempêtes associées aux changements climatiques augmentaient le stress social dans la collectivité et correspondaient à une augmentation de l'exode des jeunes et des familles, ainsi qu'à des tensions familiales et des conflits interpersonnels (Vasseur et coll., 2015). À Rigolet, dans le Nunatsiavut, les changements des conditions météorologiques, de la glace et des tendances saisonnières ont entraîné un accroissement du stress familial et communautaire, accompagné de préoccupations quant à l'augmentation de la violence familiale (Cunsolo Willox et coll., 2013a).

En plus de perturber les pratiques culturelles, les changements climatiques et les stress et problèmes qui y sont associés ont entraîné la fragmentation de réseaux sociaux auparavant solides et une perte de capital social dans de nombreuses collectivités rurales et éloignées (GERARCC, 2018; Medeiros et coll., 2017). Les collectivités autochtones rurales et éloignées, en particulier, sont touchées de manière disproportionnée par les impacts sociaux des changements climatiques, qui exacerbent les problèmes socio-économiques existants, tels que les enjeux liés à la prestation de services et aux occasions économiques limitées (GERARCC, 2018; Picketts et coll., 2017). Plus largement, dans les collectivités rurales et éloignées, les personnes dont le capital social est limité et qui manquent d'accès aux ressources sont souvent plus exposées aux impacts indésirables des changements climatiques (GERARCC, 2018; Krawchenko et coll., 2016).

Les changements climatiques dans les régions rurales et éloignées ont également influencé la structure sociale des collectivités en ce qui concerne les rôles de chacun des sexes. Dans des collectivités agricoles de la Saskatchewan, par exemple, une étude a révélé que les crises environnementales renforcent les conceptions traditionnelles du rôle des femmes au sein des exploitations agricoles, en positionnant les hommes comme les principaux « agriculteurs » et les femmes comme des « soignantes, des aides » qui remplissent des rôles de « soutien », et en attribuant aux femmes un rôle moins important dans les stratégies d'adaptation aux changements climatiques (Women's Environment and Development Organization, 2018). De façon semblable, dans les collectivités forestières de l'Ouest canadien, la position économique et sociale marginale des femmes a eu une incidence sur leur vulnérabilité aux conditions climatiques changeantes (Williams et coll., 2018; Reed et coll., 2014). À Clyde River et Qikiqtarjuaq, au Nunavut, les impacts liés aux changements climatiques sur l'accessibilité aux espèces sauvages ont entraîné un déplacement des rôles économiques principaux des femmes dans la préparation traditionnelle des aliments et la production

artisanale (p. ex. couture de la peau de phoque), avec des répercussions économiques négatives pour elles et leurs collectivités, ainsi que des impacts sociaux et culturels importants (Williams et coll., 2018).

3.7.4 Pertes et dommages causés aux paysages et aux sites d'importance culturelle et sociale

Les paysages culturels et les lieux d'importance culturelle et sociale, tels que les sites archéologiques et patrimoniaux, contribuent souvent à créer un sentiment d'appartenance et de continuité culturelle pour les résidents et les collectivités attachées à ces lieux. Dans de nombreuses collectivités rurales et éloignées du Canada, les impacts des changements climatiques (érosion côtière, modification du régime des précipitations, augmentation des feux de forêt et modification des cycles de gel-dégel) contribuent à la destruction de ces sites, ce qui entraîne des pertes et des dommages irréversibles (Clarke et Clarke, 2018; GERARCC, 2018). Dans les collectivités rurales et éloignées, ces sites sont particulièrement menacés en raison de leur situation géographique, des craintes au sujet du vieillissement des infrastructures et de la limitation des ressources disponibles aux fins de la réduction des risques et de l'adaptation (GERARCC, 2018). En outre, l'adaptation aux changements climatiques par la transformation des paysages culturels ou la relocalisation de sites patrimoniaux ou archéologiques constitue un défi, car leur valeur est souvent directement associée au lieu qui les abrite. Une fois que ces lieux sont perdus, ils ne peuvent être récupérés (Clarke et Clarke, 2018; GERARCC, 2018; Gouvernement du Canada, 2016).

Dans les collectivités côtières rurales et éloignées, les impacts des changements climatiques tels que l'élévation du niveau de la mer, la perte de glace de mer, les ondes de tempête, l'augmentation de la vitesse des vents et l'érosion côtière endommagent directement des sites d'importance culturelle et sociale (Clarke et Clarke, 2018). Dans les régions rurales de la Nouvelle-Écosse, par exemple, une étude portant sur les impacts des changements climatiques sur les populations âgées a révélé que les inondations liées aux ondes de tempête et à l'évolution des régimes de précipitations avaient des répercussions négatives sur les espaces sociaux et les biens de la collectivité qui sont importants dans la routine quotidienne et l'engagement social (Manuel et coll., 2015). L'augmentation des vents et des ondes de tempête a également contribué à la détérioration des structures le long du littoral (p. ex. les phares, les jetées), ainsi que du patrimoine naturel et des paysages (p. ex. des arbres arrachés par le vent et la perte de plages et de dunes) (Clarke et Clarke, 2018). Les impacts des changements climatiques dans les régions arctiques et subarctiques ont également détruit de précieuses données archéologiques, des sites du patrimoine naturel et du patrimoine bâti ainsi que des paysages d'importance culturelle et sociale (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Andrews et coll., 2016; Dawson et Levy, 2016).

Dans les régions nordiques, les préoccupations spécifiques en matière de changements climatiques comprennent la fonte de la glace de mer et du manteau neigeux permanent, de graves tempêtes de neige et de verglas et une augmentation très marquée des températures (Clarke et Clarke, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Andrews et coll., 2016). Le site de Fort Conger, au Nunavut (voir la section 3.2), et d'autres sites patrimoniaux de l'Arctique ont été endommagés par l'accumulation de glace, de neige et d'eau, par des vents forts, par l'augmentation des cycles de gel-dégel et par la présence accrue de champignons et de pourriture subséquente, le tout soutenu par le réchauffement des températures arctiques

(Clarke et Clarke, 2018; Dawson et Levy, 2016). Les changements de température, y compris les extrêmes de chaleur et de froid, peuvent également avoir une incidence sur l'extinction d'espèces locales de faune et de flore qui sont des éléments importants du patrimoine naturel (Clarke et Clarke, 2018). Les conditions climatiques changeantes ont transformé d'importants points de repère utilisés par les cueilleurs autochtones le long des voies de déplacement et ont perturbé l'accès aux lieux de signification culturelle, sociale, spirituelle et émotionnelle (Andrews et coll., 2016). Bien qu'il existe des lacunes dans la compréhension de l'ensemble des impacts liés à la destruction des sites sociaux et culturels dans toutes les collectivités rurales et éloignées au Canada, la préservation de ces biens culturels peut être considérée comme un symbole de résilience et de stabilité communautaire dans une période de changements rapides (Clarke et Clarke, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017).

3.7.5 Mesures d'adaptation et possibilités

Les dommages immatériels sur l'identité, la continuité culturelle et le sentiment d'appartenance causés par les changements climatiques, de même que les pertes connexes, sont répandus et cumulatifs, et il sera essentiel d'en tenir compte dans l'adaptation aux changements climatiques. Malgré de nombreux défis, l'adaptation à ces impacts négatifs est déjà entamée alors que les résidents et les collectivités des régions rurales et éloignées constatent l'impact des changements climatiques sur l'interconnexion et l'importance de l'identité, de la culture et du lieu (voir le tableau 3.5 et l'étude de cas 3.5). Dans de nombreuses collectivités autochtones rurales et éloignées du Nord du Canada, par exemple, on a souligné l'importance de tirer parti des connaissances autochtones, des réseaux de partage et de la transmission des connaissances d'une génération à l'autre comme éléments clés de l'adaptation (Archer et coll., 2017; Fawcett et coll., 2017; Durkalec et coll., 2015; Pearce et coll., 2015; Statham et coll., 2015). Dans les collectivités rurales des Prairies, des producteurs agricoles ont reconnu le rôle vital du capital communautaire, social et naturel, et la nécessité de réagir collectivement aux changements climatiques (Sauchyn, 2017). Qui plus est, dans les collectivités côtières canadiennes de l'Atlantique et du Nord, où elles ont des identités fortement ancrées dans les paysages culturels et les sites d'importance socioculturelle, des stratégies visant à préserver et à maintenir les sites à risque sont actuellement à l'étude (Clarke et Clarke, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017).

Tableau 3.5. : Exemples de stratégies d'adaptation existantes et futures pour faire face aux impacts des changements climatiques sur l'identité, la continuité culturelle et le sentiment d'appartenance dans les collectivités rurales et éloignées de l'ensemble du Canada

STRATÉGIES D'ADAPTATION EXISTANTES	RÉFÉRENCES
Utiliser les technologies pour mobiliser les connaissances au sujet des sites d'importance culturelle et sociale qui sont à risque en raison des changements climatiques peut aider à obtenir du soutien pour leur préservation.	Dawson et Levy, 2016
Augmenter la capacité technologique pour faire face à des conditions imprévisibles.	Archer et coll., 2017; Fawcett et coll., 2017
Élaborer des programmes de développement communautaire axés sur la mobilisation des connaissances locales en tirant parti de la culture, des compétences et des ressources locales.	Drolet et Sampson, 2017
Utiliser les connaissances autochtones, notamment les compétences apprises et basées sur la terre, les expériences et la mémoire de groupe, pour soutenir la flexibilité et l'innovation dans les domaines de la chasse (p. ex. s'adapter aux cycles saisonniers pour chasser ce qui est disponible), l'évitement des dangers et la préparation aux situations d'urgence.	Fawcett et coll., 2017; Cunsolo Willox et coll., 2015, 2013a, b, 2012; Durkalec et coll., 2015; Harper et coll., 2015; Pearce et coll., 2015
Réseaux sociaux, partage communautaire, commerce entre les collectivités et promotion du capital social (p. ex. partage de nourriture, d'équipement et de connaissances lorsque des personnes sont dans le besoin; prestation d'ateliers axés sur les compétences).	Archer et coll., 2017; Durkalec et coll., 2015; Pearce et coll., 2015; Statham et coll., 2015
Renforcer la résilience des collectivités en créant un plan d'action contre les changements climatiques qui tire parti des réseaux sociaux, des expériences, de la diversité, de la recherche de consensus et d'outils pertinents sur le plan culturel.	Clarke et Clarke, 2018
La résurgence des cérémonies, des pratiques et des valeurs autochtones.	GERARCC, 2018

STRATÉGIES D'ADAPTATION POSSIBLES	RÉFÉRENCES
Intégrer le contexte géographique, social et culturel d'une collectivité, ainsi que les risques posés par les changements climatiques, dans les politiques pourrait en améliorer la pertinence et contribuer à éviter les mauvaises mesures d'adaptation.	Drolet et Sampson, 2017; Ford et coll., 2017; Krawchenko et coll., 2016; Manuel et coll., 2015
Une conception inclusive pourrait contribuer à reconnaître l'interdépendance des considérations sociales, économiques et environnementales dans le contexte de l'adaptation, y compris l'aspect sociodémographique (c'est-à-dire l'âge, le sexe, le statut socio-économique).	Drolet et Sampson, 2017; Rapaport et coll., 2015; Vasseur et coll., 2015
Définir et soutenir des stratégies d'adaptation dans les collectivités autochtones qui sont enracinées dans les valeurs culturelles et les connaissances autochtones peut contribuer à la résilience climatique (p. ex. en faisant participer les chefs des collectivités et les aînés).	Archer et coll., 2017; Ford et coll., 2017, 2014; Pearce et coll., 2015; Gill et Lantz, 2014
Élaborer de nouveaux modes de mobilisation des connaissances par la coproduction de connaissances, créer des outils et des messages d'adaptation qui fournissent des conseils pratiques concrets; et créer des incitations en faveur de la mise en œuvre.	Ford et coll., 2017; Reed et coll., 2014
Mettre en place des mesures de surveillance environnementale dans les collectivités afin d'encourager la protection des terres.	Gouvernement du Canada, 2016; Gill et Lantz, 2014
Intégrer du matériel culturellement pertinent et localement approprié dans l'éducation, les programmes et les services; élaborer une éducation et un transfert de connaissances ciblés (p. ex. enseigner le fonctionnement de l'équipement et la façon de l'utiliser).	Clark et coll., 2016 a, b; Ford et coll., 2014
Renforcer l'autonomie locale en matière de prise de décision.	Ford et coll., 2014
Renforcer l'apprentissage fondé sur la terre et l'échange des connaissances entre les générations.	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017; Ford et al, 2014
Considérer les valeurs et les identités culturelles du point de vue des avantages durables pour la collectivité.	Clarke et Clarke, 2018

STRATÉGIES D'ADAPTATION POSSIBLES	RÉFÉRENCES
Mettre en place des équipes interdisciplinaires pour prendre des décisions sur la préservation et l'entretien du patrimoine et des sites d'importance socioculturelle.	Clarke et Clarke, 2018
Donner la priorité aux fouilles et à la collecte de données sur les sites archéologiques les plus menacés par les impacts des changements climatiques.	Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017
Envisager le déplacement de sites et de structures d'importance culturelle et sociale pour les protéger des risques climatiques.	Clarke et Clarke, 2018; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2017

Il a été déterminé qu'un fort sentiment culturel constituait un facteur de protection qui atténue l'exposition aux risques liés aux changements climatiques et qui joue un rôle primordial dans l'influence sur la capacité d'adaptation (Cunsolo et coll., 2017; Ford et coll., 2014). Bien que de nombreuses collectivités rurales et éloignées possèdent des pratiques culturelles traditionnelles, la culture demeure dynamique. Par exemple, à Dawson Creek, en Colombie-Britannique, où les identités culturelles locales axées sur l'autosuffisance sont étroitement liées à un héritage agricole, la collectivité a utilisé l'adaptation aux changements climatiques pour promouvoir une identité communautaire renouvelée autour de la durabilité et de l'indépendance énergétique, notamment par la création du parc éolien de Bear Mountain (Shaw et coll., 2014). En fin de compte, le capital social existant dans les collectivités rurales et éloignées, tel que des réseaux sociaux solides et des systèmes basés sur les connaissances locales, est essentiel à l'adaptation (Furness et Nelson, 2016). Alors que les lieux d'importance sociale et culturelle évoluent de manière sans précédent, il est nécessaire de poursuivre les recherches sur la manière dont ces changements modifieront les pratiques culturelles et le tissu social des collectivités.

Les recherches indiquent que les impacts immatériels des changements climatiques, tels que les effets indésirables sur la culture ou le capital social, découlent des impacts directs de même que des stratégies d'adaptation et de réduction des émissions de GES. Dans la mouvance en faveur des énergies propres, par exemple, l'interdiction d'une mine de charbon dans la ville rurale d'Atikokan, en Ontario, a entraîné le licenciement d'environ 90 travailleurs de la centrale électrique, ce qui a eu des effets indésirables sur le tissu social de la collectivité (Dampier et coll., 2016). Par ailleurs, comme on l'a vu dans la collectivité des Premières Nations de Fort Albany, en Ontario, les stratégies d'adaptation, de réduction des risques et de réduction des émissions de GES ont favorisé la cohésion sociale et le partage (Barbeau et coll., 2015). Dans cette collectivité subarctique, où des systèmes alimentaires locaux ont été instaurés pour lutter contre l'insécurité alimentaire, la pratique du jardinage a permis de renforcer les liens familiaux et d'offrir un espace de transmission des connaissances entre les générations (Barbeau et coll., 2015). De nouvelles formes de réseaux sociaux peuvent également contribuer à renforcer les relations sociales, comme l'utilisation des médias sociaux pour repérer les personnes à risque lors de phénomènes météorologiques extrêmes et pour faciliter le partage de nourriture et d'équipement (Archer et coll., 2017).

Étude de cas 3.5 : Soutenir le bien-être, la force, la résilience et la continuité culturelle des Inuits du Nunatsiavut, au Labrador

Les Inuits de l'ensemble de l'Inuit Nunangat (les terres ancestrales des Inuits) sont à l'avant-garde d'un climat et d'un environnement en rapide évolution. Il en résulte qu'une des priorités de nombreuses collectivités inuites est d'élaborer des stratégies pour soutenir le bien-être communautaire, favoriser les moyens de subsistance, maintenir les valeurs culturelles, accroître la résilience et préserver et promouvoir la continuité culturelle. En réaction à ces facteurs de stress et à ces besoins, et en s'appuyant sur des recherches antérieures menées dans la région, les collectivités inuites du Nunatsiavut ont activement conçu des programmes de recherche fondés sur des données probantes pour soutenir le bien-être, la force, la résilience et la continuité culturelle des Inuits.

Par exemple, les collectivités de Nain et de Hopedale ont mis en place le programme Aullak, Sangilivallianginnatuk (Going Off, Growing Strong) pour réunir de jeunes cueilleurs et des cueilleurs expérimentés afin de soutenir les relations sociales et culturelles et la sécurité alimentaire de la collectivité. Les gouvernements des communautés inuites de Rigolet, de Makkovik et de Postville dans la région du Nunatsiavut, au Labrador, ont conçu et piloté le programme IlikKuset-Ilingannet (Culture-Connect!) (Cunsolo et coll., 2017; équipe IlikKuset-Ilingannet, 2014). Ce programme reposait sur l'épistémologie relationnelle inuite de la *piliriatigiinniq* (« travailler dans un esprit collaboratif pour le bien commun ») et réunissait des jeunes et des mentors adultes pour apprendre des compétences culturelles, notamment le trappage, la fabrication de raquettes, la sculpture, l'art et la couture.

Les deux programmes soutenaient la transmission de connaissances pratiques, créaient ou amélioraient les relations entre et parmi les jeunes et les mentors, revitalisaient la fierté culturelle et le bien-être, favorisaient la préservation et la promotion de la culture et se sont révélés une stratégie prometteuse pour soutenir la durabilité culturelle et à la résilience face aux changements. Cela correspond à la place croissante accordée aux programmes menés par les populations autochtones qui soutiennent la préservation, la promotion, la récupération et la résurgence de la culture, et contribuent à une compréhension holistique et à des stratégies en faveur de la durabilité des régions nordiques.

3.8 La participation locale à la prise de décisions en matière d'adaptation améliore les résultats

Le renforcement des capacités de gouvernance et de prise de décision en matière d'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées nécessite l'accès à des ressources, à des renseignements et à du soutien supplémentaire. Il est possible d'améliorer l'efficacité des processus décisionnels liés aux programmes et aux politiques d'adaptation grâce à une plus grande participation des résidents et des organisations locales, à l'inclusion des connaissances locales et autochtones et à la prise en compte des circonstances spécifiques des collectivités et des régions rurales et éloignées.

Les gouvernements, les organisations de la société civile, les établissements universitaires et les entreprises s'attaquent aux changements climatiques de diverses manières, notamment par la planification ainsi que l'élaboration de politiques et de programmes. L'accès aux ressources, à l'information et au soutien technique a renforcé la capacité d'adaptation de certaines collectivités rurales et éloignées. Toutefois, un soutien supplémentaire sous forme de renseignements propres aux régions, de personnel qualifié tel que des planificateurs et des ingénieurs, et de sources de financement est nécessaire pour répondre aux exigences de planification et de mise en œuvre de l'adaptation, comme aux capacités limitées de gouvernance locale. La coordination entre les acteurs (ce qui comprend des organismes gouvernementaux de tous niveaux) est également essentielle, tout en reconnaissant la nécessité d'une planification et de mesures adaptées au milieu.

3.8.1 Introduction

Les structures de gouvernance des régions rurales et éloignées, à plusieurs niveaux et dans de nombreux secteurs, sont confrontées à des défis découlant des changements climatiques (voir l'encadré 3.5), et essaient de relever ces défis et de saisir les occasions qui en découlent (Assemblée législative des Territoires du Nord-Ouest, 2018; Gouvernement du Canada, 2017; Hurlbert et Pittman, 2014; McMartin et Merino, 2014). Les impacts des changements climatiques affectent non seulement la planification et les politiques, mais aussi les infrastructures et la prestation des services, en particulier dans les situations d'urgence et en ce qui concerne le développement communautaire et économique, ainsi que la gouvernance des terres et des ressources naturelles.

Encadré 3.5 : La gouvernance de l'adaptation

La gouvernance est comprise comme étant les manières dont les acteurs gouvernementaux et non gouvernementaux s'organisent pour répondre aux problèmes de société ou aux nouvelles possibilités, notamment la création et la mise en place d'institutions formelles et informelles pour aider à orienter ces mesures. La gouvernance de l'adaptation fait plus précisément référence aux efforts combinés de ces



différents acteurs pour s'adapter aux changements climatiques. Cela comprend les institutions, les politiques, les plans et les stratégies qui sont élaborés ou utilisés pour traiter les enjeux de l'adaptation, les idées sur la façon dont l'adaptation devrait être entreprise et régie ainsi que les décisions qui sont prises, comme la détermination des problèmes et des mécanismes utilisés pour la mise en œuvre et pour l'application (Huitema et coll., 2016).

3.8.2 La nécessité d'une approche collaborative de la gouvernance

Tous les ordres de gouvernement jouent un rôle dans les mesures de lutte contre les changements climatiques au sein des collectivités rurales et isolées (voir le tableau 3.6). Les recherches actuelles soulignent l'importance des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, ainsi que des gouvernements et organisations autochtones et des initiatives intergouvernementales internationales pour soutenir les collectivités rurales et éloignées dans leurs efforts d'adaptation. Il est essentiel que les établissements de recherche et de connaissances institutionnalisées s'engagent de manière significative avec les détenteurs du savoir autochtone et local et les citoyens scientifiques pour mieux comprendre les défis posés par les changements climatiques et y réagir. La création et la mise en place de nouvelles politiques, des mesures législatives ainsi que des programmes de financement, de formation et d'assistance technique sont des outils importants utilisés par ces gouvernements et ces organisations (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2016; Hurlbert et Pittman, 2014).

Tableau 3.6 : Processus de gouvernance liés à l'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées du Canada

PROCESSUS DE GOUVERNANCE DE L'ADAPTATION	ENDROITS OBSERVÉS*	ORDRES DE GOUVERNEMENT CONCERNÉS*	AUTRES ACTEURS CONCERNÉS*
Élaboration et mise en œuvre des politiques : changements législatifs, transfert des responsabilités en matière de planification aux municipalités; élaboration de chartes communautaires; élaboration de politiques sociales; cadres stratégiques sur les changements climatiques; et Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.	C.-B., N.-É., Nt, Ont., SK et à l'échelle nationale	Local/municipal, provincial/territorial, fédéral, international	Milieu universitaire/ de recherche, ONG
Planification : planification de l'adaptation aux changements climatiques; plans de gestion des déchets; élaboration de stratégies de gestion des risques de catastrophes; planification des transports; planification énergétique; intégration de la planification sanitaire et de la planification des bassins versants en matière de changements climatiques; et planification communautaire.	C.-B., N.-B., T.-N.-L., T.N.-O., Ont., Qc, YK et à l'échelle nationale	Local/municipal, autochtone, conseil tribal, provincial/ territorial, fédéral, international	Milieu universitaire/ de recherche, ONG, secteur privé, industrie
Élaboration et mise en œuvre des programmes : mise en œuvre de programmes de gestion adaptative; initiatives pilotes d'adaptation; formation; soutien aux pratiques de gestion bénéfiques; et autres mesures.	C.-B., N.-B., T.-N.-L., T.N.-O., Ont., Qc, YK et à l'échelle nationale	Local/municipal, autochtone, provincial/ territorial, fédéral, international	Milieu universitaire/ de recherche, ONG, secteur privé, industrie

PROCESSUS DE GOUVERNANCE DE L'ADAPTATION	ENDROITS OBSERVÉS*	ORDRES DE GOUVERNEMENT CONCERNÉS*	AUTRES ACTEURS CONCERNÉS*
Collecte et échange d'informations : élaboration d'outils d'évaluation des risques; collecte de renseignements; suivi et évaluation; échange de renseignements; recherche; mobilisation du public.	C.-B., MB, N.-B., T.-N.-L., T.N.-O., Î.-P.-É., Qc, SK et à l'échelle nationale	Local/municipal, autochtone, provincial/territorial, fédéral, international	Milieu universitaire/ de recherche, ONG, secteur privé, industrie

* Tel qu'il est indiqué dans la littérature récente, laquelle a été répertoriée et évaluée.

Les organisations de la société civile, dont les organisations non gouvernementale (ONG), ainsi que les établissements de recherche et le secteur privé jouent également un rôle crucial. De nombreux gouvernements facilitent et encouragent les relations avec les ONG pour aider à la mise en œuvre d'initiatives en matière d'adaptation (Drolet et Sampson, 2017; Caldwell, 2015). Les organisations de la société civile, ainsi que les gouvernements autochtones et municipaux, assument un rôle important dans l'adaptation en apportant des solutions adaptées au milieu aux impacts des changements climatiques à l'échelle locale et régionale. Un des moyens permettant d'aborder l'adaptation est la gestion collaborative des bassins versants, où un ensemble de différents intervenants (les gouvernements, la santé publique locale, les initiatives locales de conservation, les propriétaires fonciers, les groupes communautaires, etc.) travaillent ensemble pour protéger une région transfrontalière (Healthy Lake Huron, 2019). Par exemple, en Colombie-Britannique, les organismes de bassin versant tels que la Similkameen Valley Planning Association, le Conseil du bassin du Fraser, la Nechako Watershed Alliance et le Columbia Basin Trust collaborent avec tous les ordres de gouvernement et avec des partenaires du secteur de l'enseignement supérieur, des entreprises et des collectivités pour mener des activités de recherche, de planification, d'éducation et de surveillance liées aux changements climatiques et à l'adaptation (voir l'étude de cas 3.6; Picketts et coll., 2017; Horning et coll., 2016a, b).

Les administrations et les organisations locales des régions rurales et éloignées, en collaboration avec des partenaires provinciaux, territoriaux et fédéraux, élaborent des plans et des stratégies de gestion adaptative propres aux collectivités, aux régions et aux secteurs d'activité pour faire face à la variabilité et à l'incertitude du climat (McMartin et Merino, 2014; Warren et Lemmen, 2014). Par exemple, les récentes projections prévoient une augmentation de la température moyenne, de la variabilité du climat, des sécheresses et de la dégradation des sols dans la région des prairies (Bush et Lemmen, 2019), ce qui engendre une grande incertitude pour les collectivités agricoles. En reconnaissant que l'adaptation dépend à la fois de la disponibilité des ressources et de la capacité à les utiliser, le Programme de gestion agroenvironnementale Canada-Saskatchewan et le Programme d'infrastructures hydrauliques pour les productions végétales et animales ont été créés pour aider les producteurs agricoles à s'adapter aux risques environnementaux (voir l'étude de cas 3.2; Hurlbert et Pittman, 2014). De même, en Colombie-Britannique, l'Agriculture and Food

Climate Action Initiative a été créée par le BC Agriculture Council en coopération avec les gouvernements fédéral et provincial pour élaborer des outils et des ressources qui aideront le secteur agricole à être plus résilient face aux changements climatiques (BC Agriculture and Food Climate Action Initiative, 2018).

Les changements climatiques mettent à rude épreuve la capacité des structures et institutions de gouvernance existantes à réagir aux impacts sociaux, économiques, culturels et environnementaux auxquels sont confrontées de nombreuses collectivités rurales et éloignées. Face à ces défis, des organisations de la société civile, des établissements de recherche et des entreprises locales ont vu le jour en vue de combler des lacunes essentielles. Leurs efforts contribuent à transformer la recherche, le financement et l'expertise en une planification pratique de l'adaptation au sein des collectivités. À cette fin, les collectivités rurales et éloignées s'engagent dans un certain nombre de processus de gouvernance formels et informels qui font intervenir de multiples organismes dans la planification, les politiques et les programmes d'adaptation afin de consolider la capacité décisionnelle locale, ainsi que l'engagement et les mesures publiques (Blanco et coll., 2015; Schroth et coll., 2015).

3.8.3 Relever les défis en matière de gouvernance

Les changements climatiques présentent d'importants défis en matière de gouvernance. Bien que des formes collaboratives de gouvernance de l'adaptation fassent de plus en plus souvent l'objet de recommandations, elles nécessitent des efforts considérables de coordination intergouvernementale et multilatérale (Vérificateur général du Canada, 2018). Les mesures prises pour faire face aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées sont de plus en plus complexes, étant donné que les rôles et responsabilités qui y sont associés sont répartis entre de nombreux organismes, organisations et ordres de gouvernement. Les incertitudes liées aux questions de propriété et de responsabilité en matière de prestation de services ont parfois entraîné une incapacité à intervenir adéquatement en cas d'urgences environnementales dans l'ensemble du pays, telles que les inondations et les vagues de chaleur, ce qui est révélateur des défis liés à la coordination (Caldwell, 2015).

Il est également à craindre que les formes actuelles de gouvernance de l'adaptation n'encouragent ou ne soutiennent pas davantage le déchargement de responsabilités supplémentaires des ordres supérieurs de gouvernement vers des institutions locales déjà éprouvées, sans leur accord ni les ressources supplémentaires nécessaires. Par exemple, de nombreux mécanismes provinciaux de lutte contre les catastrophes liées aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées ont été structurés de manière à dépendre fortement des bénévoles locaux et des membres de la collectivité. Or, beaucoup de ceux-ci peuvent provenir de populations vulnérables ou marginalisées et être confrontés à des risques accrus liés aux catastrophes naturelles, au chômage ou même à la migration forcée, par exemple, et peuvent déjà devoir composer avec les impacts personnels liés à la subsistance, aux soins de santé et à l'habitation (Drolet et Sampson, 2017; Caldwell, 2015). Pour les collectivités autochtones, l'élaboration d'approches collaboratives de gouvernance exige un soin particulier, la création d'un climat de confiance et la reconnaissance des titulaires de droits autochtones, étant donné l'héritage colonial du Canada et ses impacts sur les relations avec les peuples autochtones et sur la capacité d'adaptation (Archer et coll. 2017; Pearce et coll., 2015).

Outre la nécessité de surmonter les enjeux liés aux héritages institutionnels et au besoin de coordination, il existe d'autres défis à relever pour élaborer des stratégies d'adaptation locales (Climate Action Revenue Incentive Program, 2017; Assemblée législative du Yukon, 2017) (voir le tableau 3.7). Les lacunes sur le plan des renseignements, de la recherche et des données probantes constituent un défi continu pour les collectivités rurales et éloignées qui espèrent entamer la planification de l'adaptation. Si certaines collectivités de ces régions ont créé des partenariats avec des établissements universitaires et d'autres organisations pour combler les lacunes en matière de collecte de données, de définition des problèmes, de suivi et d'évaluation des options d'adaptation, ces établissements sont souvent situés en dehors des régions rurales et éloignées. Il en résulte que les citoyens résidant dans ces régions rurales et éloignées qui cherchent à comprendre les impacts des changements climatiques, à y réagir et à s'y adapter n'ont pas toujours facilement accès à ces établissements (Harneet et Lantz, 2014). La nécessité d'avoir accès à des renseignements adaptés aux réalités locales, qui font souvent défaut, complique encore ces enjeux.

Tableau 3.7 : Défis liés à la gouvernance de l'adaptation dans les collectivités rurales et éloignées du Canada

CATÉGORIES DE DÉFIS EN MATIÈRE DE GOUVERNANCE	ENDROIT(S) OBSERVÉ(S)*
Politiques et planification : détermination des problèmes; existence de problèmes socio-économiques urgents; prestation de services et de soutien; incapacité à entretenir les infrastructures (p. ex. les routes d'hiver); gestion du changement et des systèmes de soutien communautaire; absence de réglementation régionale; élaboration de stratégies d'adaptation locales; et l'intégration des changements climatiques dans l'aménagement de l'espace.	C.-B., Ont., N.-É., T.N.-O., Nt, SK, YK
Réaction aux situations d'urgence liées aux changements climatiques : réaction aux inondations et à l'évolution des risques liés aux inondations; élaboration de stratégies de lutte contre les feux de forêt; et intervention en cas d'urgences environnementales.	C.-B., N.-B., Ont., Î.-P.-É., Qc
Ressources et capacités : assurer une formation technique et financière; offrir des possibilités de financement et de subvention pour les efforts d'adaptation locaux; stimuler les investissements du secteur privé; faire concurrence pour les ressources à tous les niveaux; coûts élevés de l'adaptation et de la réaction aux catastrophes naturelles; et mesurer la capacité d'adaptation des collectivités.	Alb., C.-B., MB, N.-B., Ont., T.-N.-L., T.N.-O., Î.-P.-É., Qc, SK, YK et à l'échelle nationale

CATÉGORIES DE DÉFIS EN MATIÈRE DE GOUVERNANCE	ENDROIT(S) OBSERVÉ(S)*
Compromis entre l'adaptation, la réduction des émissions de GES et le développement des ressources : adaptation ou réduction des émissions de GES; taxation du carbone; dépendance à l'égard des secteurs des ressources naturelles.	C.-B., YK
Coordination intergouvernementale : clarification des rôles et des responsabilités; coopération accrue entre les administrations; communication fragmentée entre les ministères; gouvernance de l'eau et des bassins versants.	C.-B., Ont., T.-N.-L., Nt, SK
Communiquer les risques : communication des complexités des changements climatiques à la population.	C.-B., Qc

* Tel qu'il est indiqué dans la littérature récente, laquelle a été répertoriée et évaluée.

Un autre défi auquel sont confrontées les institutions chargées de réagir aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées consiste à trouver un équilibre entre la nécessité de s'adapter aux changements des conditions environnementales et la réalisation des objectifs de réduction des GES fixés à l'échelle nationale. Dans bien des cas, les objectifs de réduction des émissions de GES sont soupesés par rapport aux avantages économiques qui découlent de l'exploitation des ressources (Drolet et Sampson, 2017). Lors de la planification de l'adaptation, la nécessité de rester concurrentiel tout en respectant les engagements internationaux en matière de réduction des émissions et de protection contre la dégradation de l'environnement peut exercer une pression supplémentaire sur les ressources et les capacités humaines déjà sollicitées (Assemblée législative du Yukon, 2017; Gouvernement du Canada, 2017, 2016; Furness et Nelson, 2016; Gouvernement de l'Ontario, 2016; Province du Nouveau-Brunswick, 2016; Association du Barreau de l'Ontario, 2015). Le comté d'Oxford, en Ontario, a intégré des objectifs nationaux de réduction des émissions de GES dans son plan de développement durable et va plus loin pour aborder certains des enjeux régionaux auxquels il est confronté, dans le but de renforcer la santé de l'environnement et de la population ainsi que de créer une économie dynamique qui favorise le développement durable (Conseil de comté d'Oxford, 2015).

Des études de cas régionales donnent un aperçu de la manière dont des facteurs tels que les ressources humaines et financières se rapportent à la capacité de gouvernance locale et aux changements climatiques (voir l'étude de cas 3.6). Les mesures de gouvernance régionale en matière de changements climatiques, comme les efforts déployés à l'échelle des bassins versants en Colombie-Britannique, soulignent la nécessité de mettre en place des partenariats d'adaptation propres à chaque lieu dans le cadre des politiques et des mesures à appliquer (Breen et Rethoret, 2018). Pour donner un autre exemple, la Première Nation Qalipu de Terre-Neuve exécute une évaluation régionale des impacts des changements climatiques sur les services, la santé et les infrastructures, ce qui aidera les collectivités à s'adapter. Cette évaluation en cours repose sur des renseignements recueillis lors d'entrevues avec les résidents, des données publiques et les SIG, et porte

sur des enjeux tels que la qualité de l'eau, la vulnérabilité et le potentiel d'inondation dans neuf collectivités (Sullivan, 2018). Le soutien au renforcement de la capacité de gestion des actifs, tel que celui fourni par la Fédération canadienne des municipalités (FCM) à Municipalities Newfoundland and Labrador (l'association municipale à l'échelle provinciale), est d'une importance vitale dans une province où seulement un quart des municipalités ont plus d'un seul employé qui assume toutes les responsabilités municipales (Parewick, 2018; Irvine et coll., 2016). La FCM a apporté un soutien essentiel à ces initiatives par l'intermédiaire du Programme Municipalités pour l'innovation climatique, qui aide les collectivités à la fois à réduire les émissions de GES et à s'adapter aux changements climatiques par le renforcement de leurs capacités (Fédération canadienne des municipalités, 2018b; Infrastructure Canada, 2018).

Étude de cas 3.6 : La co-construction et le renforcement de la capacité d'adaptation rurale

Les impacts des changements climatiques se font déjà sentir dans la région rurale de Kootenay, dans le sud-est de la Colombie-Britannique, et devraient s'intensifier avec le temps. Ils incluent l'augmentation du nombre et de la gravité des feux de forêt et des phénomènes météorologiques extrêmes, ainsi que des changements dans le paysage. Ces impacts affectent également les infrastructures, la planification des mesures d'urgence et le développement communautaire.

Les administrations locales sont les premières à réagir lorsqu'il s'agit de s'adapter aux changements climatiques. Cependant, dans la région des Kootenay, comme ailleurs, elles sont confrontées à des défis tels que les limites des capacités humaines et financières, la dépendance à l'égard des ressources naturelles, une autorité administrative limitée et le manque de soutien et de données appropriées. Dans ce contexte, les changements climatiques peuvent sembler être un obstacle insurmontable. Néanmoins, les collectivités des Kootenay disposent également d'atouts uniques et adaptés au milieu qui ont été utilisés pour renforcer la capacité d'adaptation, notamment sous forme d'une expertise locale et d'organisations partenaires comme le Columbia Basin Rural Development Institute (RDI), un institut de recherche affilié à un collège communautaire, et le Columbia Basin Trust (CBT), une fiducie régionale (Columbia Basin Rural Development Institute, 2017; Columbia Basin Trust, 2015).

En 2014, le RDI a établi un partenariat avec le CBT pour examiner comment les collectivités pourraient mesurer leurs progrès en matière d'adaptation aux changements climatiques, ce qui a donné lieu à la série d'indicateurs sur l'état d'adaptation et de résilience aux changements climatiques dans le bassin (SoCARB). Le SoCARB a dressé une vue d'ensemble de l'adaptation en reliant les indicateurs de changements climatiques aux indicateurs d'impacts environnementaux et communautaires, qui ont à leur tour été reliés aux indicateurs de capacités et de mesures d'adaptation. Le SoCARB était également ancré dans le contexte régional, les indicateurs étant organisés en cinq « trajectoires d'adaptation » (chacune représentant une priorité d'adaptation régionale) (Columbia Basin Trust, 2015).

En 2016, le RDI a lancé un projet pilote de mesure des indicateurs SoCARB, dans l'intention d'élaborer une approche pouvant être reproduite afin de parvenir à mesurer les degrés d'adaptation. Le RDI a collaboré

avec les municipalités de Kimberley et de Rossland, ainsi qu'avec les districts régionaux de Central Kootenay et East Kootenay. L'équipe du projet comprenait du personnel de l'administration locale, des représentants élus, des chercheurs provenant de collèges, un étudiant inscrit à un programme d'alternance travail-études, un étudiant au cycle supérieur, deux agents de liaison et des conseillers ayant une expertise en matière de changements climatiques.

Les membres de l'équipe ont lancé une réflexion sur la manière de traduire dans les faits l'approche SoCARB, en tenant compte tout particulièrement des contraintes de temps et d'argent. Un examen des trajectoires d'adaptation en fonction des priorités locales a permis d'établir une liste d'indicateurs personnalisée pour chaque collectivité. Les chercheurs, le personnel des administrations locales et les étudiants ont recueilli les données correspondantes. Les agents de liaison et le personnel ont guidé l'analyse, en fonction de ce qu'ils cherchaient à savoir. Les rapports communautaires qui en ont résulté ont été élaborés pour aider chaque collectivité à trouver et à suivre des indicateurs clés, ainsi qu'à utiliser les résultats pour éclairer leurs mesures et les plans correspondants. Un étudiant au cycle supérieur a procédé à une évaluation du processus, apportant ainsi un éclairage extérieur.

Ce projet est un exemple de projet d'adaptation qui a été mené localement, en tenant compte de la spécificité du lieu et de manière collaborative. Les partenariats ont été essentiels à la réussite du projet, chaque membre de l'équipe ayant joué un rôle visant à garantir que l'approche et les résultats étaient rigoureux, adaptatifs et pertinents à l'échelle locale (Columbia Basin Rural Development Institute, 2017).

Le travail de la RDI sur l'adaptation aux changements climatiques en milieu rural continue de croître et d'évoluer. Pour plus d'informations, visitez le site www.cbrdi.ca.

3.9 Aller de l'avant

3.9.1 Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche

Des travaux importants ont été réalisés pour mieux comprendre les changements climatiques et s'y adapter dans les collectivités rurales et éloignées du Canada, même si de nombreuses lacunes subsistent dans les connaissances. Par exemple, les difficultés liées à l'accès aux données sur les tendances climatiques régionales ainsi qu'à l'interprétation et à l'application de ces données, le tout aux échelles nécessaires à la prise de décision, sont des obstacles importants à une meilleure compréhension des changements climatiques et à l'intégration de cette compréhension à tous les niveaux de gouvernance. Des lacunes dans la collecte et l'analyse des données locales se traduisent par une capacité limitée à comprendre et à planifier des mesures appropriées pour réduire la vulnérabilité et les risques liés aux impacts projetés des

changements climatiques dans les collectivités. Parmi les autres lacunes en matière de connaissances, citons le besoin de renseignements sur les changements de comportement des feux de forêt, de données de base sur l'approvisionnement en eau des collectivités et d'un recensement des menaces que représentent les organismes nuisibles, les agents pathogènes, les mauvaises herbes et les espèces envahissantes, ainsi que la nécessité d'une cartographie nouvelle ou actualisée des risques d'inondation. En particulier, une meilleure connaissance de la façon dont la forme des lignes de rivage pourrait être liée aux inondations côtières dans différents contextes serait également utile pour étudier la vulnérabilité à l'échelle locale, ainsi que pour orienter la planification et les politiques connexes (Vasseur et coll., 2017). Une plus grande connaissance des stratégies de réaction à ces menaces et aux urgences environnementales est également nécessaire (Furness et Nelson, 2016). Il est également souhaitable de mener d'autres études sur les impacts des changements climatiques dans les secteurs d'activité ruraux tels que l'aquaculture, l'exploitation minière, pétrolière et gazière et le tourisme au Canada (Weatherdon et coll., 2016). Dans l'ensemble, les difficultés scientifiques liées à la modélisation et à l'analyse des changements climatiques pour les collectivités rurales et éloignées comprennent la disponibilité limitée des données, des connaissances et des compétences pertinentes à l'échelle locale ainsi que des ressources financières associées.

Bien qu'il soit évident que les changements climatiques ont des impacts sur la santé humaine dans les régions rurales et éloignées du Canada, on ne comprend pas encore suffisamment dans quelle mesure ceux-ci sont ressentis et continueront de l'être (Kipp et coll., 2019; Furness et Nelson, 2016). Par exemple, les dynamiques changeantes liées aux déplacements sur la glace et sur terre peuvent contribuer aux blessures subies pendant les trajets, car des caractéristiques du paysage deviennent exposées, les températures augmentent et la glace s'amincit. Toutefois, la compréhension de la manière dont ces conditions environnementales en changement peuvent affecter les taux de blessures, en particulier dans les régions inuites qui connaissent souvent des taux plus élevés de blessures non intentionnelles, fait encore défaut (Durkalec et coll., 2015). De plus, des recherches sont nécessaires pour déterminer dans quelle mesure les blessures liées aux changements climatiques diffèrent en fonction des capacités, des activités et des rôles individuels au sein des communautés (Clark et coll., 2016 a, b). Très peu de renseignements sont disponibles sur la manière dont les différentes dynamiques sociales (p. ex. des facteurs tels que le sexe, l'âge et la culture) au sein des collectivités contribuent à leur capacité globale à s'adapter aux changements climatiques (Reed et coll., 2014). La recherche liée aux changements démographiques et à la cohésion sociale est essentielle pour comprendre les capacités sociales dans les collectivités rurales et éloignées.

Il existe également des lacunes dans la compréhension des ramifications des changements climatiques sur la santé mentale, qui sont étroitement liées aux impacts des changements climatiques sur la santé physique et environnementale (Middleton et coll., 2020; Cunsolo Willox et coll., 2013a, b). Des sujets comme le deuil ou l'anxiété écologique (Cunsolo et Ellis, 2018) doivent être étudiés plus en profondeur pour mieux comprendre leur impact sur les différents groupes de population. La santé mentale des populations autochtones et de celles qui dépendent étroitement de la terre pour leur culture et leur subsistance (p. ex. les agriculteurs et les pêcheurs) est un domaine de préoccupation particulier. Ces groupes sont particulièrement exposés aux impacts des changements climatiques, malgré le fait que les recherches relatives à leur santé mentale et à leur bien-être dans le contexte des changements climatiques soient limitées (p. ex. Middleton et coll., 2020; Dodd et coll., 2018; Cunsolo Willox et coll., 2015; Harper et coll., 2015; Cunsolo Willox et coll., 2013a, b). De la même manière, rares sont les recherches visant à comprendre comment les pertes immatérielles affectent différentes personnes et collectivités et à définir la meilleure façon de rendre compte de ces pertes

(Tschakert et coll., 2019; Tschakert et coll., 2017). En effet, il existe un besoin général de mieux étudier la composante humaine des changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées au Canada (Akkari et Bryant, 2016; Statham et coll., 2015).

Il est urgent de mener des recherches sur la surveillance locale des changements environnementaux, sanitaires et sociaux liés aux changements climatiques et sur l'adaptation à ces changements. D'autres recherches sont également nécessaires pour explorer les impacts des changements environnementaux sur les systèmes de connaissance, les langues et les pratiques culturelles dans les collectivités rurales et éloignées. En outre, pour les collectivités autochtones rurales et éloignées, la santé mentale, le sentiment d'appartenance et le bien-être socioculturel sont des sujets qui exigent impérativement une enquête plus approfondie (Durkalec et coll., 2015). Malgré les recherches considérables menées ces dernières années sur la manière dont les changements climatiques touchent les collectivités inuites, peu de recherches ont exploré les mesures à long terme et les expériences des collectivités inuites en matière de changements climatiques (Archer et coll., 2017). Il est également important de trouver des moyens de mieux définir et inclure les connaissances locales et autochtones dans la recherche et sur la prise de mesures en matière d'adaptation.

L'importance de la gouvernance et des valeurs communautaires au regard de la capacité d'adaptation suggère que d'autres questions concernant ces enjeux pourraient devoir être abordées (Furness et Nelson, 2016, 256). Pour évaluer leur efficacité et leur efficience en ce qui concerne la mise en œuvre, les plans et les changements politiques visant à traiter les enjeux évoqués ici doivent être analysés de près. La communication bidirectionnelle et le transfert des connaissances sur la nature des changements climatiques et sur les politiques connexes sont essentiels pour assurer la réussite de la mise en œuvre de telles politiques. Une autre lacune dans les connaissances concerne le transfert et la mobilisation efficaces des connaissances sur les changements climatiques (Akkari et Bryant, 2016; Burch et Harris, 2014; Larsen et coll., 2012). En général, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les moyens les plus efficaces de mettre à disposition des données locales et régionales sur les changements climatiques, ainsi que des renseignements sur les impacts potentiels et les options en matière d'adaptation. Par exemple, la manière dont les changements climatiques affectent la prise de décision des agriculteurs est un domaine qui nécessite des recherches plus approfondies, et il a été suggéré que des rapports ciblés et réguliers sur les changements climatiques destinés aux décideurs agricoles seraient utiles pour l'adaptation et la mise en place de mesures adéquates (Akkari et Bryant, 2016). Une meilleure compréhension de la nature et de la culture autour de la négation de l'existence des changements climatiques dans le contexte canadien pourrait également permettre d'élaborer des outils éducatifs plus efficaces et mieux ciblés afin de contribuer à accroître les connaissances et à favoriser les mesures d'adaptation, de réduction des risques et de réduction des émissions de GES dans les collectivités rurales et éloignées (Furness et Nelson, 2016; Stoddart et Sodero, 2015). Enfin, nous nous devons de chercher à mieux comprendre les moteurs et les perspectives qui poussent les gens à en apprendre davantage au sujet des changements climatiques, l'efficacité et la rapidité de cet apprentissage, ainsi que les impacts et les utilisations potentielles de la technologie pour l'apprentissage et le partage des connaissances dans les collectivités rurales et éloignées (Archer et coll., 2017; Fawcett et coll., 2017).

3.9.2 Nouveaux enjeux

Au long des sections qui précèdent, certains des nouveaux enjeux liés aux changements climatiques auxquels sont confrontées les collectivités rurales et éloignées au Canada ont été soulignés. Il existe des préoccupations importantes en matière de sécurité pour les collectivités, non seulement en ce qui concerne l'impact potentiel des phénomènes météorologiques extrêmes, mais aussi en ce qui concerne les conséquences des changements graduels dans le climat. D'un point de vue sanitaire, il est également important de mieux comprendre comment les changements climatiques affecteront la santé mentale des collectivités, comme il a été mentionné plus haut. Partout au pays, les collectivités rurales et éloignées subissent de multiples changements sociaux et culturels, et les chercheurs commencent seulement à comprendre comment ces changements qui s'entrecroisent interagissent avec les changements climatiques et la capacité des collectivités à s'y adapter. Par exemple, bien que certains stocks de poissons des eaux arctiques augmentent en raison de la hausse des températures océaniques, il est à craindre que les nouvelles occasions qui en découlent soient contrebalancées par des facteurs tels que la concurrence accrue pour ces nouvelles ressources, la présence accrue de la pêche industrielle, la disponibilité réduite des espèces traditionnellement exploitées, les contrôles de gestion limités et les enjeux concernant la souveraineté des populations autochtones à l'égard des stocks de poissons dans leurs terres ancestrales et l'accès à ces stocks (Bindoff et coll., 2019; Meredith et coll., 2019; Weatherdon et coll., 2016). Des changements se produisent également dans les collectivités en rapport avec les efforts de réduction des émissions de GES, notamment la transition vers des économies à faibles émissions de carbone et la croissance des énergies renouvelables et des biocarburants qui en résulte. Ces changements posent différents défis, offrent différentes occasions et requièrent une attention particulière afin de s'assurer qu'ils sont développés de manière durable et que les collectivités rurales et éloignées reçoivent le soutien nécessaire à la transition économique.

Pour que les efforts d'adaptation aux changements climatiques soient couronnés de succès, il faudra continuer de mettre à niveau les infrastructures et d'améliorer les services fournis localement dans l'ensemble du Canada. Toutefois, ces exigences surviennent en même temps que les déficits croissants en matière d'infrastructures, les retraits de services et les changements démographiques dans les collectivités rurales et éloignées. De même, la gouvernance est devenue une considération centrale pour ce qui est de s'adapter aux changements climatiques et composer efficacement avec ceux-ci. Comme pour les infrastructures et les services, la gouvernance de l'adaptation aux changements climatiques évolue et nécessitera un soutien local, car les leaders communautaires continuent de devoir faire face à des demandes croissantes de la part des intervenants tout en disposant de moins de ressources pour satisfaire à ces demandes. La gouvernance implique une série complexe de relations entre différents organismes à tous les ordres de gouvernement, ainsi qu'avec d'autres organisations. La communication et la coordination sont essentielles à une bonne gouvernance, tout comme le fait de s'assurer que les collectivités peuvent mener des activités d'adaptation avec des solutions adaptées à chaque milieu. En effet, les politiques, programmes et mesures climatiques menés à l'échelle nationale et internationale ne sont pas toujours bien adaptés aux circonstances propres aux collectivités rurales et éloignées. La compréhension de ces facteurs et de l'évolution des dynamiques sera essentielle aux réussites futures : il s'agit de nouveaux enjeux qui méritent une attention continue.

3.10 Conclusion

Les régions rurales et éloignées du Canada subissent d'importants impacts des changements climatiques. Elles abritent des résidents, des entreprises et des organisations qui ont tendance à dépendre des ressources naturelles et d'écosystèmes sensibles aux changements climatiques pour leurs cultures, leurs moyens de subsistance et leur bien-être, tout en ayant accès à moins de ressources financières, humaines et institutionnelles formelles que leurs homologues urbains (voir le tableau 3.8 pour les risques liés aux changements climatiques à court, moyen et long terme pour les collectivités rurales et éloignées). Malgré ces défis et ces risques, les régions rurales et éloignées continuent de faire preuve d'une grande résilience, en s'appuyant sur des atouts tels que de solides économies informelles, des réseaux sociaux et des liens d'appartenance aux lieux, aux collectivités et à la culture. Les systèmes basés sur les connaissances locales (p. ex. les connaissances locales ou autochtones) et l'expérience vécue ont été essentiels à la compréhension des impacts associés aux changements climatiques, ainsi qu'à l'élaboration de mesures et d'adaptations fructueuses.

Les stratégies d'adaptation liées aux économies locales ont inclus la planification en vue des changements économiques et la protection des économies traditionnelles grâce aux technologies, au renforcement des capacités et à la modification des pratiques d'aménagement des terres. Ces efforts ont été des réactions nécessaires aux impacts des changements de l'état de la glace de mer, des températures plus élevées et de la sécheresse sur les secteurs économiques, tels que l'agriculture, la foresterie, la pêche et le tourisme, ainsi que sur les activités de subsistance, comme la chasse et la cueillette, qui sont essentielles à la subsistance et au bien-être économique dans de nombreuses régions rurales et éloignées.

Les réseaux et services de transport des régions rurales et éloignées continuent également à être confrontés à un risque accru de défaillance et de perturbation en raison de l'augmentation prévue des phénomènes météorologiques extrêmes, les collectivités côtières étant particulièrement vulnérables aux situations d'urgence environnementale qui perturbent les infrastructures et les activités nécessaires à la vie quotidienne. En conséquence, les collectivités et les régions rurales et éloignées intègrent des considérations relatives aux changements climatiques dans leur planification et leur conception communautaires et ont entrepris de renforcer, de reconstruire et de réimaginer leurs environnements bâtis.

Ces changements liés aux changements climatiques ont un impact direct et indirect sur la santé physique et mentale et le bien-être des personnes et des collectivités. Le fait de se concentrer sur l'adaptation aux changements climatiques, la réduction des risques ainsi que la concrétisation des avantages connexes de la réduction des émissions de GES représente une occasion importante pour le secteur de la santé. Les changements climatiques et les impacts qui y sont associés entraînent des pertes et des dommages immatériels de grande ampleur dans de nombreuses collectivités, dont la perte d'identité, de continuité culturelle et du sentiment d'appartenance. Ces effets devraient être généralisés et cumulatifs, et il est essentiel d'en tenir compte dans l'adaptation aux changements climatiques et dans les politiques correspondantes.

Malgré la résilience exceptionnelle des collectivités rurales et éloignées, leurs capacités d'adaptation sont de plus en plus sollicitées par les changements socioécologiques en cours, qui sont souvent rapides. Un financement accru pour soutenir la planification et les initiatives d'adaptation, la collecte de renseignements

et le soutien d'origine locale est nécessaire pour accroître la capacité de gouvernance et améliorer la prise de décisions liées à l'adaptation aux changements climatiques dans ces régions. En outre, la diversité des impacts et des coûts potentiels de l'adaptation obligera les collectivités à établir des priorités d'action et à intégrer les mesures d'adaptation et les investissements connexes. Une plus grande inclusion sera essentielle, ainsi qu'une planification, des politiques et de programmes provinciaux et fédéraux qui tiennent compte des circonstances propres aux régions rurales et éloignées.

Tableau 3.8 : Risques liés aux changements climatiques dans les collectivités rurales et éloignées dans l'ensemble du Canada

COURT	MOYEN	LONG TERME
Systèmes de connaissances adaptées au milieu		
<ul style="list-style-type: none">Des changements dans les conditions de la glace de mer, des températures plus élevées et la sécheresse représentent des risques immédiats pour les connaissances locales et autochtones dans les secteurs de l'agriculture, de la foresterie, de la pêche et du tourisme ainsi que sur les activités de subsistance comme la chasse et la cueillette.	<ul style="list-style-type: none">Changements dans les facteurs de stress météorologiques affectant la production agricole et les systèmes de connaissances propres aux terres.Changements climatiques engendrant un défi continu pour les systèmes de connaissance autochtones qui sont fondés sur des compétences et des connaissances liées à la terre et qui constituent la base d'une pratique sécuritaire et de l'évitement des dangers lors de sorties en terrain.	<ul style="list-style-type: none">Menaces pour les relations continues et à long terme entre les personnes et leurs environnements naturels.Perturbations dans le tissu social et les identités culturelles des collectivités rurales et éloignées.

COURT	MOYEN	LONG TERME
Moyens de subsistance et économie		
<ul style="list-style-type: none">• Impacts immédiats sur les infrastructures dont dépendent les moyens de subsistance en raison des conditions météorologiques extrêmes, du dégel du pergélisol, des sécheresses, des inondations, des ondes de tempête et de l'érosion.• Changements actuellement observés chez les espèces de poissons et les espèces sauvages, et impacts connexes.• Réduction de l'accessibilité aux sources d'aliments traditionnels.• Changements dans l'approvisionnement en ressources renouvelables liés aux changements d'espèces (p. ex. agriculture, pêche et foresterie).• Risque croissant lié à l'incertitude économique.• Les premiers à s'adapter amorcent la transition de leurs économies à des coûts plus élevés et avec un risque d'échec plus grand.• Fluctuations dans l'offre et la demande en énergie (p. ex. combustibles fossiles, hydroélectricité et énergies renouvelables).	<ul style="list-style-type: none">• Changements continus et cumulatifs dans les écosystèmes marins et terrestres, y compris des changements dans l'approvisionnement en ressources renouvelables.• Impacts continus sur l'accessibilité des sources alimentaires traditionnelles.• Fluctuations dans l'offre et la demande en énergie (p. ex. combustibles fossiles, hydroélectricité et énergies renouvelables).• Prolongement et intensification de tous les impacts à court terme, hormis pour les premiers qui sont parvenus à s'adapter avec succès.• Perte potentielle des moyens de subsistance et des économies dans de nombreuses collectivités.• Changements fondamentaux dans les infrastructures, la planification et la transition économique dans la plupart des collectivités. Certaines pourraient être abandonnées en raison de la perte de leurs moyens de subsistance.	<ul style="list-style-type: none">• Interconnexions entre les impacts des changements climatiques, les mesures d'adaptation et les autres changements socioécologiques à de multiples niveaux, qui sont susceptibles de créer une multitude de risques en constante émergence.• Incertitude maximale liée aux impacts extrêmes des changements climatiques.• Les collectivités qui s'adaptent sont probablement encore en transition.• Abandon vraisemblable des collectivités non adaptées.• Possibilité de migrations accompagnées de nouvelles formes de moyens de subsistance et d'économie.

COURT	MOYEN	LONG TERME
Infrastructures		
<ul style="list-style-type: none">• Les réseaux et services de transport sont confrontés à un risque accru de défaillance et de perturbation.• Impacts sur les lignes de transport d'électricité et les réseaux électriques.• Impacts graves sur les infrastructures nordiques en raison de l'augmentation rapide des températures moyennes, des précipitations et des changements connexes.• Risque de blessure dû aux défaillances des infrastructures physiques et à des routes et voies de transport traditionnelles perturbées ou dégradées.• Difficultés à maintenir la sécurité alimentaire et la sécurité de l'eau.	<ul style="list-style-type: none">• Collectivités côtières de plus en plus vulnérables aux situations d'urgence environnementale, qui perturbent les activités nécessaires à la vie quotidienne.• Pertes et dommages causés aux infrastructures essentielles et communautaires à la suite de phénomènes météorologiques extrêmes, d'inondations intérieures et côtières, de l'élévation du niveau de la mer, du dégel du pergélisol et de feux de forêt.• Prolongement et intensification de tous les impacts à court terme.	<ul style="list-style-type: none">• Perturbations continues des infrastructures essentielles, ce qui est susceptible d'avoir des impacts économiques indésirables.• Hausse des prix de l'énergie.• La fonte du pergélisol et l'érosion côtière continuent d'affecter les infrastructures résidentielles et communautaires, en particulier là où la planification et la conception n'ont pas tenu compte des conditions climatiques en changement.
Santé et bien-être		
<ul style="list-style-type: none">• Défis croissants en matière d'accès à des sources d'eau et de nourriture saines et préférées culturellement.	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation de la prévalence et de la gravité de la malnutrition, de l'obésité et du diabète liée à la modification de l'accès à certains aliments.	<ul style="list-style-type: none">• Efficacité des systèmes de santé dans les régions rurales et éloignées de plus en plus mise à l'épreuve par la réduction de la capacité des systèmes et l'accumulation continue de stress liés aux changements climatiques.



COURT	MOYEN	LONG TERME
Santé et bien-être (continué)		
<ul style="list-style-type: none"> • Risque de contamination des sources locales de nourriture et d'eau dans les régions polaires éloignées dû à l'augmentation des niveaux de polluants organiques persistants et de métaux toxiques dans l'environnement naturel. • Aggravation des maladies à transmission vectorielle, hydrique et alimentaire existantes. • Apparition de nouvelles maladies infectieuses. • Risque de blessures et de décès causés par des événements météorologiques extrêmes et des conditions climatiques en changement. • Défis croissants en matière de santé mentale liés aux incertitudes environnementales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des températures et la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes, ce qui pourrait surcharger les fragiles systèmes de traitement de l'eau et affecter la salubrité de l'eau. • Modification des niveaux d'eau, du ruissellement, des régimes d'écoulement et des sédiments, affectant la disponibilité et la qualité de l'eau potable. • Menaces croissantes pour la sécurité et le bien-être des collectivités forestières dues aux feux de forêt. • Intensification continue des défis en matière de santé mentale. 	
Identité, culture et société		
<ul style="list-style-type: none"> • Transformations des pratiques culturelles et de l'identité associées aux changements affectant les terres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte des connaissances autochtones et perturbation de la continuité culturelle. • Érosion des compétences et des connaissances propres aux terres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exode potentiel des jeunes et des familles, associé à l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes liés aux changements climatiques.

COURT	MOYEN	LONG TERME
Identité, culture et société (continué)		
<ul style="list-style-type: none">• Modification de la transmission des connaissances autochtones d'une génération à l'autre.• Changements dans le tissu social des collectivités rurales et éloignées.• Augmentation des tempêtes, du vent, de l'élévation du niveau de la mer et de l'érosion côtière, endommageant directement des sites d'importance sociale et culturelle.• Conditions changeantes qui entraînent une modification des voies de déplacement et des perturbations dans l'accès à des lieux d'importance culturelle, sociale, spirituelle et émotionnelle.	<ul style="list-style-type: none">• Pertes continues en termes de sentiment d'appartenance et d'identité résultant des pertes, des dommages et des destructions irréversibles de paysages et de régions d'importance culturelle et sociale.• Modification continue du sens accordé à un lieu et du sentiment d'appartenance à celui-ci, résultant de la perturbation des liens entretenus avec la terre.• Dommages causés par les tempêtes associées aux changements climatiques pouvant entraîner une augmentation du stress social.• Stress liés aux changements climatiques pouvant aggraver les tensions familiales et les conflits interpersonnels.• Stress liés aux changements climatiques s'ajoutant aux défis existants en matière de prestation de services et aux possibilités économiques limitées.	<ul style="list-style-type: none">• Stress liés aux changements climatiques affectant le tissu des collectivités rurales et éloignées.• Crises environnementales pouvant perpétuer les rôles traditionnels des hommes et des femmes, ce qui entraîne une diminution de la capacité à agir sur les stratégies d'adaptation.• Intensification continue des défis en matière d'autonomie culturelle.• Pertes continues pour le capital social.• Changements de température conduisant à l'extinction potentielle des espèces sauvages et végétales locales qui sont des aspects importants du patrimoine naturel.• Conséquences négatives imprévues des stratégies de réduction des émissions de GES et d'adaptation, notamment des impacts indésirables sur les possibilités économiques et sur le tissu social des collectivités.

COURT	MOYEN	LONG TERME
Gouvernance et institutions		
<ul style="list-style-type: none">• Impacts des changements climatiques affectant les infrastructures et la prestation des services, en particulier dans les situations d'urgence, et liés à la gouvernance des terres et des ressources naturelles.• Difficultés à résoudre les perturbations de la prestation des services et à s'adapter en raison de conflits sur la responsabilité administrative et de la nécessité de continuer à améliorer la communication et la coordination.• Préoccupation, à l'échelle locale, de voir les ordres supérieurs de gouvernement se décharger de responsabilités supplémentaires sur des institutions locales déjà trop sollicitées.• Défis liés à l'équilibre entre la nécessité de s'adapter aux conditions environnementales changeantes et l'atteinte des cibles de réduction des émissions de GES établies à l'échelle nationale.	<ul style="list-style-type: none">• Impacts des changements climatiques continuant d'avoir des répercussions et exigeant une planification de l'adaptation et une politique d'adaptation.• Augmentations de la température moyenne, de la variabilité du climat, des sécheresses et de la dégradation des sols entraînent un degré élevé d'incertitude pour les collectivités agricoles et autres collectivités dépendantes des ressources.• Incertitude accrue et défis liés à la capacité de répondre aux urgences environnementales.• Préoccupation accrue liée à la capacité locale, sans augmentation des ressources et du soutien.• Défis continus associés aux structures de gouvernance descendante peu flexibles et à la mise en œuvre des efforts d'adaptation intergouvernementaux et multilatéraux.	<ul style="list-style-type: none">• Pression continue sur la capacité des structures et des institutions de gouvernance à réagir aux impacts sociaux, économiques, culturels et environnementaux liés aux changements climatiques.• Intégration de perspectives internationales dans la planification de l'adaptation peut accentuer le stress sur les ressources et les capacités humaines existantes.

3.11 Références

- 4-H Ontario. (s.d.). « Field crops, weeds, insects, and disease ». Consulté le 9 avril 2020 sur le site <<https://www.4h.ab.ca/downloads/documents/FieldCropsLG.pdf>>
- Abram, N., Gattuso, J.P., Prakash, A., Cheng, L., Chidichimo, M.P., Crate, S., Enomoto, H., Garschagen, M., Gruber, N., Harper, S., Holland, E., Kudela, R.M., Rice, J., Steffen, K. et von Schuckmann, K. (2019). « Summary for Policymakers » dans *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, (Éds.) H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer. Sous presse. Consulté en février 2020 sur le site <https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf>
- Affaires autochtones et du Nord Canada (2017). Plan ministériel 2017–2018. Ottawa, Ontario, Canada. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.canada.ca/content/dam/polar-polaire/documents/pdf/POLAR_PAA_Based_2017-18_DP_FINAL_FRENCH.pdf>
- Agence de la santé publique du Canada (2017). Les incidences des changements climatiques sur la santé de la population canadienne. Consulté en février 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/aspc-phac/HP5-122-2017-fra.pdf>
- Akkari, C. et Bryant, C.R. (2016). « The co-construction approach as approach to developing adaptation strategies in the face of climate change and variability: A conceptual framework ». *Agricultural Research*, 5, 162–173. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40003-016-0208-8>>
- Andrews, T.D., S.V. Kokelj, S.V., MacKay, G., Buysee, J., Kritsch, I., Andre, A. et Lantz, T. (2016). « Permafrost thaw and Aboriginal cultural landscapes in the Gwich'in Region, Canada ». *The Journal of Preservation Technology*, 47(1), 15–22. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.gwichin.ca/publications/permafrost-thaw-and-aboriginal-cultural-landscapes-gwich%E2%80%99-region-canada>>
- Archer L., Ford J.D., Pearce T., Kowal S., Gough W.A. et Allurut M. (2017). « Longitudinal assessment of climate vulnerability: a case study from the Canadian Arctic ». *Sustainability Science*, 12, 15–29. <<https://doi.org/10.1007/s11625-016-0401-5>>
- Arnold, S. et Fenech, A. (2017). « Prince Edward Island climate change adaptation recommendations report ». University of Prince Edward Island Climate Lab, Charlottetown, Canada, 172 p. Consulté en février 2020 sur le site <http://projects.uepei.ca/climate/files/2018/10/PEI-Climate-Change-Adaptation-Recommendations-Report_medres.pdf>
- Arriaga, M., Nasr, E. et Rutherford, H. (2017). « Renewable energy microgrids in northern remote communities ». *Institute of Electrical and Electronics Engineers Potentials*, 36(5), 22–29.
- Assemblée législative des Territoires du Nord-Ouest (2018). « 2030 NWT Climate Change Strategic Framework ». Consulté en février 2020 sur le site <http://library.assembly.gov.nt.ca/2018/ENR/a382207_td_211-183_2030_NWT_Climate_Change_Strategic_Framework.pdf>
- Assemblée législative du Yukon (2017). Séance d'automne. Numéro 32, 2e séance, 34e législature. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.legassembly.gov.yk.ca/hansard/34-legislature/42.pdf>>
- Bakaic M. et Medeiros A.S. (2017). « Vulnerability of northern water supply lakes to changing climate and demand ». *Arctic Science*, 3(1), 1–16. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/as-2016-0029>>
- Barbeau C.D., Oelbermann M., Karagatzides J.D. et Tsuji L.J.S. (2015). « Sustainable agriculture and climate change: producing potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) for improved food security and resilience in a Canadian subarctic First Nations community ». *Sustainability*, 7(5), 5664–5681. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su7055664>>
- BC Agriculture and Food Climate Action Initiative (2018). « About us ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.bcagclimateaction.ca/overview/about-us/>>
- Berner, J., Brubaker, M., Revitch, B., Kreummel, E., Tcheriponoff, M. et Bell, J. (2016). « Adaptation in Arctic circumpolar communities: food and water security in a changing climate ». *International Journal of Circumpolar Health*, 75. Consulté en février 2020 sur le site <<https://10.3402/ijch.v75.33820>>
- Bernier, R.Y., Jamieson, R.E. et Moore, A.M. (Éds.) (2018). Rapport de synthèse sur l'état de l'océan Atlantique. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3167, 159 p. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2018/atlantic-synthesis-atlantique-synthese/index-fra.html>>
- Bindoff, N.L., Cheung, W.W.L. Kairo, J.G., Aristegui, J., Guinder, V.A., Hallberg, R., Hilmi, N., Jiao, N., Karim, M.S., Levin, L., O'Donoghue, S., Purca Cuicapusa, S.R., Rinkevich, B., Suga, T., Tagliabue, A. et Williamson, P. (2019). « Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities, Chapter 5 » dans *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, (Éds.) H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama and N.M. Weyer. Sous presse. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/download/>>

- Bishop-Williams K.E., Berke, O., Pearl, D.L., Kelton, D.F. (2015b). « A spatial analysis of heat stress related emergency room visits in rural Southern Ontario during heat waves ». *BioMed Central Emergency Medicine*, 15(1), 1–9. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s12873-015-0043-4>>
- Bishop-Williams, K.E., Berke, O., Pearl D.L., Hand, K. et Kelton, D.F. (2015a). « Heat stress related dairy cow mortality during heat waves and control periods in rural Southern Ontario from 2010–2012 ». *BioMed Central Veterinary Research*, 11(291). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s12917-015-0607-2>>
- Bishop-Williams, K.E., Berke, O., Pearl, D.L. et Kelton, D.F. (2016). « Mapping rural community and dairy cow heat stress in Southern Ontario: a common geographic pattern from 2010 to 2012 ». *Archives of Environmental and Occupational Health*, 71, 199–207. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/19338244.2015.1058235>>
- Blanco, J.A., Dubois D., Littlejohn, D., Flanders, D.N., Robinson, P., Moshofsky, M. et Welham, C. (2015). « Fire in the woods or fire in the boiler: implementing rural district heating to reduce wildfire risks in the forest-urban interface ». *Process Safety and Environmental Protection*, 96, 1–13. Consulté en février 2020 sur le site <<http://doi:10.1016/j.psep.2015.04.002>>
- Bleau, S., Blangy, S. et Archambault, M. (2015). « Adapting nature-based seasonal activities in Quebec (Canada) to climate change ». *Handbook of Climate Change Adaptation*, 93–121. Consulté en février 2020 sur le site <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38670-1_5>
- Boulanger-Lapointe, N., Gérin-lajoie, J., Collier, L. S., Desrosiers, S., Spiech, C., Henry, G. H. R. et Cuerrier, A. (2019). « Berry plants and berry picking in Inuit Nunangat: traditions in a changing socio-ecological landscape ». *Human Ecology*, 47(1), 81–93. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10745-018-0044-5>>
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013). « Climate change adaptation and Canadian infrastructure, a review of the literature ». IISD Report. The International Institute for International Development. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation_can_infrastructure.pdf>
- Breen, S. et Rethoret, L. (2018). « Co-constructing adaptation: rural capacity and addressing climate change ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://grosmorneclimatesymposium.files.wordpress.com/2018/09/co-constructing-adaptation-v3-sb.pdf>>
- Burch, S. et Harris, S. (2014). « Understanding Climate Change: Science, Policy, and Practice ». University of Toronto Press, Toronto, Ontario, 328 p.
- Bush, E. et Lemmen, D.S. (Éds.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 444 p. Consulté en février 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/a-propos/>>
- Caldwell, W.J. (Ed.) (2015). « Planning for Rural Resilience: Coping with Climate Change and Energy Futures ». University of Manitoba Press, Manitoba, Canada, 192 p.
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J.P., López-Ortiz, S., Landeros-Sánchez, C. et López-Romero, G. (2016). « Sociocultural dimension in agriculture adaptation to climate change ». *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(8), 848–862. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1204582>>
- Chapin, F. S., Sommerkorn, M., Robards, M. D. et Hillmer-Pegram, K. (2015). « Ecosystem stewardship: A resilience framework for arctic conservation ». *Global Environmental Change*, 34, 207–217. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.07.003>>
- Clark, D.G. et Ford J.D. (2017). « Emergency response in a rapidly changing Arctic ». *Canadian Medical Association Journal*, 189, 135-36. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1503/cmaj.161085>>
- Clark, D.G., Ford, J.D., Berrang-Ford, L., Pearce, T., Kowal, S. et Gough, W.A. (2016a). « The role of environmental factors in search and rescue incidents in Nunavut, Canada ». *Public Health*, 137, 44–49. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.puhe.2016.06.003>>
- Clark, D.G., Ford, J.D., Pearce T. et Berrang-Ford, L. (2016b). « Vulnerability to unintentional injuries associated with land-use activities and search and rescue in Nunavut, Canada ». *Social Science and Medicine*, 169, 18–26. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2016.09.026>>
- Clarke, C. S. L. M. et Clarke, A. J. (2018). Abécédaire. Association des architectes paysagistes du Canada (1–4). Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.aapc-csla.ca/zones-des-missions/abecedaire>>
- Climate Action Initiative (2013). « BC farm practices & climate change adaptation ». Consulté en mars 2020 sur le site <<https://www.bcagclimateaction.ca/wp/wp-content/media/FarmPractices-NutrientManagement.pdf>>
- Climate Action Revenue Incentive Program (2017). « Summary report on local government climate actions 2016 ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/british-columbians-our-governments/local-governments/planning-land-use/carip_2017_summary.pdf>
- Columbia Basin Rural Development Institute (2017). « Communities of the Columbia Basin ». Selkirk College. Consulté en février 2020 sur le site <<http://cbrdi.ca/Communities>>
- Columbia Basin Trust. (2015). « Measuring progress on climate adaptation in the Columbia Basin ». Consulté en mars 2020 sur le site <http://datacat.cbrdi.ca/sites/default/files/attachments/ClimateAdaptation_Summary_11-03-15%5B1%5D.pdf>

- Cunsolo Willox, A. (2012). « Climate change as the work of mourning ». *Ethics and the Environment*, 17(2), 137–164. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/10.2979/ethicsenviro.17.issue-2>>
- Cunsolo Willox, A., Harper, S. L., Edge, V. L., Landman, K., Houle, K. et Ford, J. D. (2013b). « The land enriches the soul: on climatic and environmental change, affect, and emotional health and well-being in Rigolet, Nunatsiavut, Canada ». *Emotion, Space and Society*, 6(1), 14–24. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.emospa.2011.08.005>>
- Cunsolo Willox, A., Harper, S. L., Ford, J. D., Landman, K., Houle, K., Edge, V. L. et Rigolet Inuit Community Government (2012). « From this place and of this place: climate change, sense of place, and health in Nunatsiavut, Canada ». *Social Science and Medicine*, 75(3), 538–547. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.03.043>>
- Cunsolo Willox, A., Harper, S.L., Ford, J.D., Edge, V., Landman, K., Houle, K., Blake, S. et Wolfrey, C. (2013a). Climate change and mental health: an exploratory case study from Rigolet, Nunatsiavut, Labrador. *Climate Change*, 121(2), 255–270. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0875-4>>
- Cunsolo Willox, A., Stephenson, E., Allen, J., Bourque, F., Drossos, A., Elgarøy, S., Kral, M.J., Mauro, I., Moses, J., Pearce, T., MacDonald, J.P. et Wexler, L. (2015). « Examining relationships between climate change and mental health in the Circumpolar North ». *Regional Environmental Change*, 15(1), 169–182. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-014-0630-z>>
- Cunsolo, A. et Ellis, N. R. (2018). « Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss ». *Nature Climate Change*, 8(4), 275–281. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0092-2>>
- Cunsolo, A., Shiwak, I. et Wood, M. (2017). « You need to be a well-rounded cultural person: youth mentorship programs for cultural preservation, promotion, and sustainability in the Nunatsiavut Region of Labrador, Chapter » dans *Northern Sustainabilities: Understanding and Addressing Change in the Circumpolar World*, (Éds.) G. Fondahl et G. Wilson. Springer Polar Sciences, 285–303.
- Dampier, J. E. E., Chander, S., Lemelin, R.H. et Luckai, N. (2016). « Assessment of potential local and regional induced economic impact of an energy policy change in rural Northwestern Ontario ». *Energy, Sustainability and Society*, 6(14). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi:10.1186/s13705-016-0079-7>>
- Dawson, F. (2019). « Sweeping closures in British Columbia for 2019 fishing season ». *Sea West News*. Consulté en février 2020 sur le site <<https://seawestnews.com/sweeping-closures-in-british-columbia-for-2019-fishing-season/>>
- Dawson, P. et Levy, R. (2016). « From science to survival: using virtual exhibits to communicate the significance of polar heritage sites in the Canadian Arctic ». *Open Archaeology*, 2, 209–231. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1515/opar-2016-0016>>
- Doberstein, B., Fitzgibbons, J. et Mitchell, C. (2019). « Protect, accommodate, retreat or avoid (PARA): Canadian community options for flood disaster risk reduction and flood resilience ». *Natural Hazards*, 98(1), 31–50. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3529-z>>
- Dodd, W., Scott P., Howard, C., Scott, C., Rose, C., Cunsolo, A. et Orbinski, J. (2018). « Lived experience of a record wildfire season in the Northwest Territories, Canada ». *Canadian Journal of Public Health*, 109(3), 327–337. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17269/s41997-018-0070-5>>
- Drolet, J. L. et Sampson, T. (2017). « Addressing climate change from a social development approach: Small cities and rural communities' adaptation and response to climate change in British Columbia, Canada ». *International Social Work*, 60(1), 61–73. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0020872814539984>>
- Durkalec, A., Furgal, C., Skinner, M. W. et Sheldon, T. (2014). « Investigating environmental determinants of injury and trauma in the Canadian North ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 1536–1548. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/ijerph110201536>>
- Durkalec, A., Furgal, C., Skinner, M. W. et Sheldon, T. (2015). « Climate change influences on environment as a determinant of Indigenous health: Relationships to place, sea ice, and health in an Inuit community ». *Social Science and Medicine*, 136, 17–26. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.04.026>>
- Eddy, B.G., Muggridge, M., Leblanc, R., Osmond, J., Kean, C., et Boyd, E. (2020a). Base de données 2.0 sur l'écoumène du Canada. Plateforme géospatiale fédérale (PGF), Ressources naturelles Canada. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/3f599fcb-8d77-4dbb-8b1e-d3f27f932a4b>>
- Eddy, B., Muggridge, M., LeBlanc, R., Osmond, J., Kean, C., et Boyd, E. (2020b). « An Ecological Approach for Mapping Socio-Economic Data in Support of Ecosystems Analysis : Examples in Mapping Canada's Forest Ecumene ». *One Ecosystem*, 5, e55881. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e55881>>
- Ellis, N. R. et Albrecht, G. A. (2017). « Climate change threats to family farmers' sense of place and mental well-being: A case study from the Western Australian Wheatbelt ». *Social Science and Medicine*, 175, 161–168. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.01.009>>

eNuk (s.d.). « The eNuk environment and health monitoring program ». Consulté le 9 avril 2020 sur le site <www.enuk.ca>

Fawcett, D., Pearce, T., Ford, J.D. et Archer, L. (2017). « Operationalizing longitudinal approaches to climate change vulnerability assessment ». *Global Environmental Change*, 45, 79–88. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.05.002>>

Fédération canadienne des municipalités (2018a). Les défis ruraux, des possibilités nationales à saisir : L'avenir des collectivités rurales du Canada commence maintenant. Consulté en février 2020 sur le site <<https://fcm.ca/sites/default/files/documents/resources/report/defis-ruraux-possibilites-nationales.pdf>>

Fédération canadienne des municipalités (2018b). Rapport d'étape annuel de la deuxième année : Le programme Municipalités pour l'innovation climatique. Consulté en février 2020 sur le site <<https://fcm.ca/sites/default/files/documents/resources/report/annual-progress-report-yr2-mcip.pdf>>

Fédération canadienne des municipalités et Bureau d'assurance du Canada (2019). Investir dans l'avenir du Canada : Le coût de l'adaptation aux changements climatiques. Consulté en février 2020 sur le site <<http://assets.abc.ca/Documents/Disaster/The-Cost-of-Climate-Adaptation-Summary-FR.pdf>>

Félio, G. (2017). « Climate change impacts on water and wastewater infrastructure at Moose Factory ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://pievc.ca/wp-content/uploads/2021/01/2018-09-20-om-moose-factory-fn-pievc-risk-assessment-final-report-1.pdf>>

Fletcher, A. J. et Knuttila, E. (2016). « Gendering change: Canadian farm women respond to drought, Chapter 7 » dans *Vulnerability and Adaptation to Drought: The Canadian Prairies and South America*. University of Calgary Press, Calgary, Alberta, 159–177.

Fondation canadienne pour la revitalisation rurale (2015). « State of rural Canada 2015 ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://sorc.crrf.ca/>>

Fonds mondial pour la nature (2019). « Canadian Arctic greywater report: Estimates, forecasts and treatment technologies ». Consulté en février 2020 sur le site <http://d2akr19rvx13z3.cloudfront.net/downloads/wwf_canada_grey_water_report_2018_1.pdf>

Ford, J. D., Cameron, L., Rubis, J., Maillet, M., Nakashima, D., Willox, A. C. et Pearce, T. (2016). « Including Indigenous knowledge and experience in IPCC assessment reports ». *Nature Climate Change*, 6(4), 349–353. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2954>>

Ford, J. D., Champalle, C., Tudge, P., Riedlsperger, R., Bell, T. et Sparling, E. (2015). « Evaluating climate change vulnerability assessments: A case study of research focusing on the built environment in northern Canada ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8), 1267–1288. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-014-9543-x>>

Ford, J. D., Cunsolo Willox, A., Chatwood, S., Furgal, C., Harper, S., Mauro, I. et Pearce, T. (2014). « Adapting to the effects of climate change on Inuit health ». *American Journal of Public Health*, 104(53), 9–17. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301724>>

Ford, J. D., Labbé, J., Flynn, M. et Araos, M. (2017). « Readiness for climate change adaptation in the Arctic: A case study from Nunavut, Canada ». *Climate Change*, 145, 85–100. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2071-4>>

Furness, E. et Nelson, H. (2016). « Are human values and community participation key to climate adaptation? The case of community forest organizations in British Columbia ». *Climatic Change*, 135(2), 243–259. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-015-1564-2>>

GERARCC [Groupe d'experts sur les résultats de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques] (2018). Mesure des progrès en matière d'adaptation et de résilience climatique : recommandations à l'intention du gouvernement du Canada. Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa, Ontario, 188 p. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changes-climatiques/adapter/groupe-experts-adaptation-resilience.html>>

Gerbaux, M., Spandre, P., François, H., George, E. et Morin, S. (2020). « Snow Reliability and Water Availability for Snowmaking in the Ski resorts of the Isère Département (French Alps), Under Current and Future Climate Conditions ». *Revue de géographie alpine*. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.4000/rga.6742>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). « Part B: Regional Aspects (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) » dans *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*, (Éds.) V.R. Barros, C.B. Field, J.D. Dokke, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 688-1132. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2018). « Global Warming of 1.5 °C: IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty » dans *Summary for Policy Makers*. Consulté en février 2020 sur le site <http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf>

Gilaberte-Búrdalo, M., López-Martín, F., Pino-Otín, M. et López-Moreno, J. (2014). « Impacts of climate change on ski industry ». *Environmental Science and Policy*, 44, 51–61. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.07.003>>

Gill, H. et Lantz, T. (2014). « A community-based approach to mapping Gwich'in observations of environmental changes in the Lower Peel River Watershed, Northwest Territories ». *Journal of Ethnobiology*, 34(3), 294–314. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.3.294>>

Goodridge, D. et Marciniuk, D. (2016). « Rural and remote care: Overcoming the challenges of distance ». *Chronic Respiratory Disease*, 13(2), 192–203. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/1479972316633414>>

Gouvernement de l'Ontario (2016). Plan quinquennal de l'Ontario pour combattre le changement climatique 2016–2017. Consulté en février 2020 sur le site <http://www.applications.ene.gov.on.ca/ccap/products/CCAP_FRENCH.pdf>

Gouvernement de la Saskatchewan (2017). « Prairie resilience: A made-in-Saskatchewan climate change strategy ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.saskatchewan.ca/business/environmental-protection-and-sustainability/a-made-in-saskatchewan-climate-change-strategy/prairie-resilience>>

Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (2016). « Environment economy and climate change commitment progress report ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.eia.gov.nt.ca/en/mandates/economy-environment-and-climate-change>>

Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (2017). « Climate change strategic framework 2018–2030: Draft for public comment ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.enr.gov.nt.ca/sites/enr/files/resources/final_pdf_nwt_ccsf_draft_for_public_comment_nov_29_2017.pdf>

Gouvernement du Canada (2016). Le Cadre sur la croissance propre et les changements climatiques. Ottawa, Ontario, Canada. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/content/dam/themes/environment/documents/weather1/20170125-fr.pdf>>

Gouvernement du Canada (2017). Budget de 2017 : Chapitre 2 – Des communautés conçues pour l'avenir. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.budget.gc.ca/2017/docs/plan/chap-02-fr.html>>

Gouvernement du Canada (2018). Une transition juste et équitable pour les collectivités et les travailleurs des centrales au charbon canadiennes. Consulté en février 2020 sur le site <<http://publications.gc.ca/site/fra/9.867002/publication.html>>

Gouvernement du Canada (2020). Infrastructures essentielles. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/ntnl-scrtr/crtcl-nfrstrctr/index-fr.aspx>>

Gouvernement du Manitoba (2017). « A made-in-Manitoba climate and green plan: Hearing from Manitobans ». Consulté en février 2020 sur le site <http://www.gov.mb.ca/asset_library/en/climatechange/climategreenplandiscussionpaper.pdf>

Groulx, M. (2017). « Other people's initiatives : Exploring mediation and appropriation of place as barriers to community-based climate change adaptation ». *Local Environment*, 22(11), 1378–1393. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13549839.2017.1348343>>

Groulx, M., Lewis, J., Lemieux, C. et Dawson, J. (2014). « Place-based climate change adaptation: A critical case study of climate change messaging and collective action in Churchill, Manitoba ». *Landscape and Urban Planning*, 132, 136–147. Consulté en février 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.002>>

Hall, C.M., Baird, T., James, M. et Ram, Y. (2016). « Climate change and cultural heritage: Conservation and heritage tourism in the Anthropocene ». *Journal of Heritage Tourism*, 11(1), 10–24. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/1743873X.2015.1082573>>

Hanrahan, M., Sarkar, A. et Hudson, A. (2014). « Exploring water insecurity in a northern indigenous community in Canada: The "never-ending job" of the Southern Inuit of Black Tickle, Labrador ». *Arctic Anthropology*, 51(2), 9–22. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/24475826>>

Harneet, G. et Lantz, T. (2014). « A community-based approach to mapping Gwich'in observations of environmental changes in the lower Peel River Watershed, NT ». *Journal of Ethnobiology*, 34(3), 294–314. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.3.294>>

Harper, S. L., Edge, V. L. et Willox, A. C. (2012). « 'Changing climate, changing health, changing stories' profile: Using an EcoHealth approach to explore impacts of climate change on Inuit health ». *EcoHealth*, 9(1), 89–101. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10393-012-0762-x>>

Harper, S. L., Edge, V. L., Ford, J., Cunsolo Willox, A., Wood, M., Indigenous Health Adaptation to Climate Change Research Team, et McEwen, S. (2015). « Climate-sensitive health priorities in Nunatsiavut, Canada ». *BioMed Central Public Health*, 15(1), 605. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s12889-015-1874-3>>

- Harper, S. L., Edge, V. L., Schuster-Wallace, C. J., Berke, O. et McEwen, S. A. (2011). « Weather, water quality and infectious gastrointestinal illness in two Inuit communities in Nunatsiavut, Canada: Potential implications for climate change ». *EcoHealth*, 8(1), 93–108. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10393-011-0690-1>>
- Hatcher, S. V. et Forbes, D. L. (2015). « Exposure to coastal hazards in a rapidly expanding northern urban centre, Iqaluit, Nunavut ». *Arctic Institute of North America*, 68 (4), 453–471. Consulté en février 2020 sur le site <www.jstor.org/stable/43871361>
- Healthy Lake Huron (2019). « Healthy Lake Huron: clean water, clean beaches ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.healthylakehuron.ca/about/>>
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Kääb, A., Kang, S., Kutuzov, S., Milner, A., Molau, U., Morin, S., Orlove, B. et Steltzer, H. (2019). « High Mountain Areas, Chapter 2 » dans *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, (Éds.) H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer. Sous presse. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-2/>>
- Holsman, K., Hollowed, A., Ito, S. I., Bograd, S., Hazen, E., King, J., Mueter, F. et Perry, R. I. (2019). « Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: North Pacific and Pacific Arctic marine fisheries and Chapter 6 » dans *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*, (Éds.) M. Barange, T. Bahri, M.C.M. Bereridge, K.L. Cochrane, S. Finge-Smith et F. Poulain. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 19–39. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf>>
- Horning, D., Bauer, B. O. et Cohen, S. J. (2016a). « Missing bridges: Social network (dis)connectivity in water governance ». *Utilities Policy*, 43, 59–70. Consulté en février 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jup.2016.06.006>>
- Horning, D., Bauer, B. O. et Cohen, S. J. (2016b). « Watershed governance for rural communities: Aligning network structure with stakeholder vision ». *Journal of Rural and Community Development*, 11(2), 45–71. Consulté en février 2020 sur le site <<https://journals.brandonu.ca/jrcd/article/view/1453/305>>
- Huitema, D., Adger, W. N., Berkhout, F. Massey, E., Mazmanian, D., Munaretto, S., Plummer, R. et Termeer, C. C. J. A. M. (2016). « The governance of adaptation: Choices, reasons, and effects. Introduction to the Special Feature ». *Ecology and Society*, 21(3), 37. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ecologyandsociety.org/vol21/iss3/art37/>>
- Hurlbert, M. et Pittman, J. (2014). « Exploring adaptive management in environmental farm programs in Saskatchewan, Canada ». *Journal of Natural Resources Policy Research*, 6(2–3), 195212. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/19390459.2014.915131>>
- IllikKuset-Illingannet Team (2014). « Introducing the IllikKuset-Illingannet/Culture-Connect Program ». Consulté le 9 avril 2020 sur le site <<https://www.youtube.com/watch?v=EAulcH3uXncandt=652s>>
- Infrastructure Canada (2018). « Communities across Canada receive support for green innovation, climate change resiliency, and infrastructure planning initiatives. Ottawa, Ontario, Canada ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.newswire.ca/news-releases/communities-across-canada-receive-support-for-green-innovation-climate-change-resiliency-and-infrastructure-planning-initiatives-700926721.html>>
- Irvine, M., Vodden, K. et Keenan, R. (2016). « Developing assessment and adaptation capacity: Integrating climate change considerations into municipal planning in Newfoundland and Labrador, Chapter 6 » dans *Sustainability Planning and Collaboration in Rural Canada: Taking the Next Steps*, (Éds.) L. Hallstrom, M. Beckie, G. Hvenegaard and K. Mündel. University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, 117–144.
- Johnson, R. (2019). « Saugeen Ojibway Nation confronts effects of climate change on whitefish fishery ». Consulté le 9 avril 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/indigenous/saugeen-ojibway-whitefish-fishery-climate-change-1.4982666>>.
- Johnston, M.E., Dawson, J. et Maher, P.T. (2017). « Strategic development challenges in marine tourism in Nunavut ». *Resources*, 6(3), 25. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/resources6030025>>
- King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J. et Unc, A. (2018). « Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate change ». *Scientific Reports*, 8(1), 7904. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.nature.com/articles/s41598-018-26321-8.pdf>>
- Kipp, A., Cunsolo, A., Gillis, D., Sawatzky, A., Wood, M. et Harper, S. (2019). « The need for community-led, integrated, and innovative monitoring programs when responding to the health impacts of climate change ». *International Journal of Circumpolar Health*, 78(2). Consulté en février 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1080%2F22423982.2018.1517581>>
- Knowles, J. (2016). « Power Shift: Electricity for Canada's remote communities ». The Conference Board of Canada, Ottawa. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.conferenceboard.ca/e-Library/document.aspx?did=8249>>
- Kornfeld, I.E. (2016). « The impact of climate change on American and Canadian Indigenous peoples and their water resources: A climate justice perspective ». *Hebrew University of Jerusalem Legal Research Paper*, (17–32). Consulté en février 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2832879>>

- Krawchenko, T., Keefe, J., Manuel, P. et Rapaport, E. (2016). « Coastal climate change, vulnerability and age friendly communities: Linking planning for climate change to the age friendly communities agenda ». *Journal of Rural Studies*, 44, 55–62. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.12.013>>
- Lament for the Land (2014). « Lament for the Land film ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.lamentfortheLand.ca/film/>>
- Larsen, R.K., Swartling, Å.G., Powell, N., May, B., Plummer, R., Simonsson, L. et Osbeck, M. (2012). « A framework for facilitating dialogue between policy planners and local climate change adaptation professionals: Cases from Sweden, Canada and Indonesia ». *Environment, Science and Policy*, 23, 12–23. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.envsci.2012.06.014>>
- Lebel, D. (2014). Rapport sur les plans et les priorités d'Infrastructure Canada. Consulté en février 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/infrc/T91-2-2014-fra.pdf>
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush, E. (Éds.) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/full-complet_f.pdf>
- Lieske, D.J. (2015). « Coping with climate change: The role of spatial decision support tools in facilitating community adaptation ». *Environmental Modelling Software*, 68, 98–109. Consulté en février 2020 sur le site <<http://arcgis.mta.ca/toolkit/reports/CopingwithClimateChange-RoleofSDSinCommunityAdaptation.pdf>>
- Lieske, D.J., Wade, T. et Roness, A.L. (2014). « Climate change awareness and strategies for communicating the risk of coastal flooding: A Canadian Maritime case example ». *Estuarine and Coast Shelf Science*, 140, 83–94. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.ecss.2013.04.017>>
- Loring, P. A. et Gerlach, S. C. (2015). « Searching for progress on food security in the North American North: A research synthesis and meta-analysis of the peer-reviewed literature ». *Arctic*, 68(3), 380–392. Consulté en février 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.14430/arctic4509>>
- Manuel, P., Rapaport, E., Keefe, J. et Krawchenko, T. (2015). « Coastal climate change and aging communities in Atlantic Canada: A methodological overview of community asset and social vulnerability mapping ». *Canadian Geographer*, 59(4), 433–446. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/cag.12203>>
- McMartin, D.W. et Merino, B.H.H. (2014). « Analysing the links between agriculture and climate change: can “best management practices” be responsive to climate extremes? » *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 10(1), 50. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1504/IJARGE.2014.061042>>
- Medeiros, A.S., Wood, P., Wesche, S.D., Bakaic, M. et Peters, J.F. (2017). « Water security for northern peoples: review of threats to Arctic freshwater systems in Nunavut, Canada ». *Regional Environmental Change*, 17(3), 635–647. Consulté en février 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1007/s10113-016-1084-2>>
- Meredith, M., Sommerkorn, M., Cassotta, S., Derksen, C., A. Ekaykin, A., Hollowed, A., Kofinas, G. Mackintosh, A., Melbourne-Thomas, J., Muelbert, M.M.C., Ottersen, G., Pritchard, H. et Schuur, E.A.G. (2019). « Polar Regions, Chapter 3 » dans *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, (Éds.) H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer. Sous presse. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srcc/ chapter/chapter-3-2>>
- Messner, S. (2020). « Future Arctic shipping, black carbon emissions, and climate change, Chapter 11 » dans *Maritime Transport and Regional Sustainability*. (Éds.) K.Y. Adolf, J.M. Ng, C. Jiang. Elsevier Incorporated, 195–208. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/C2018-0-04694-0>>
- Middleton, J., Cunsolo, A., Jones-Bitton, A., Wright, C. et Harper S.L. (2020). « Indigenous mental health in a changing climate: A systematic scoping review of the global literature ». *Environmental Research Letters*, 15(5), <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab68a9>>.
- Ministère de l'Environnement et du Changement climatique de la Nouvelle-Écosse (2018a). « Health impacts ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://climatechange.novascotia.ca/adapting-to-climate-change/impacts/health>>
- Ministère de l'Environnement et du Changement climatique de la Nouvelle-Écosse (2018b). « Transportation impacts ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://climatechange.novascotia.ca/adapting-to-climate-change/impacts/transportation>>
- Ministère de l'Environnement et du Changement climatique de la Nouvelle-Écosse (2018). « Climate change impacts: Transportation ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://climatechange.novascotia.ca/adapting-to-climate-change/impacts/transportation>>
- Minnes, S. et Vodden, K. (2019). « Introduction, Chapter 1 » dans « The Theory, Practice, and Potential of Regional Development: The Case of Canada », (Éds.) K. Vodden, D. Douglas, S. Markey, S. Minnes et B. Reimer. Routledge, Londres, Royaume-Uni, 1–11.

- Mortensen, L., Hansen, A.M. et Shestakov, A. (2017). « How three key factors are driving and challenging implementation of renewable energy systems in remote Arctic communities ». *Polar Geography*, 40(3), 163–185. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/1088937X.2017.1329758>>
- Mullan, D., Swindles, G., Patterson, T., Galloway, J., Macumber, A., Falck, H., Crossley, L., Chen, J. et Pisaric, M. (2017). « Climate change and the long-term viability of the world's busiest heavy haul ice road ». *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3–4), 1089–1108. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00704-016-1830-x>>
- Nicol, L.A. et Nicol, C.J. (2018). « Adoption of precision agriculture to reduce inputs, enhance sustainability and increase food production: A study of southern Alberta, Canada » dans *Sustainable development and planning*, (Éds.) G. Passerini et N. Marchettini. WIT Press, Boston, Massachusetts, États-Unis, 327–336.
- Odland, J. O., Donaldson, S., Dudarev, A. et Carlsen, A. (2015). « Arctic monitoring and assessment program assessment 2015: Human health in the Arctic ». *International Journal of Circumpolar Health*, 75(1). Consulté en février 2020 sur le site <<http://doi.org/10.3402/ijch.v75.33949>>
- Oxford County Council (2015). « Future Oxford: Our path towards sustainability ». Consulté en février 2020 sur le site <http://futureoxford.ca/general/sustainabilityplan/pdf/2015_FutureOxford_CommunitySustainabilityPlan.pdf>
- Pagano, A., Pluchinotta, I., Giordano, R. et Fratino, U. (2018). « Integrating “hard” and “soft” infrastructural resilience assessment for water distribution systems ». *Complexity*, 18, 1–16. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1155/2018/3074791>>
- Parewick, K. (2018). « BAM! NL – Building asset management here ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://grosmorneclimatesymposium.com/day-2/>>
- Pearce, C. et Callihoo, C. (2011). « Pathways to climate change resilience: A guidebook for Canadian forest-based communities ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/David_Natcher/publication/275011321_Linking_gender_climate_change_adaptive_capacity_and_forest-based_communities_in_Canada/links/56709ce608ae5252e6f1f39e/Linking-gender-climate-change-adaptive-capacity-and-forest-based-communities-in-Canada.pdf?origin=publication_detail>
- Pearce, T., Ford, J., Cunsolo Willox, A. et Smit, B. (2015). « Inuit Traditional Ecological Knowledge (TEK), subsistence hunting and adaptation to climate change in the Canadian Arctic ». *Arctic*, 68(2), 233–245. Consulté en février 2020 sur le site <<http://www.jstor.org/stable/43871322>>
- Pearce, T., Ford, J.D., Caron, A. et Kudlak, B.P. (2012). « Climate change adaptation planning in remote, resource-dependent communities: An Arctic example ». *Regional Environmental Change*, 12(4), 825–837. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-012-0297-2>>
- PGA [Programme de gérance agroenvironnementale] (s.d.). « Saskatchewan farm stewardship program ». Consulté le 9 avril 2020 sur le site <<https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/canadian-agricultural-partnership-cap/environmental-sustainability-and-climate-change/farm-stewardship-program-fsp>>
- Picketts, I.M., Parkes, M.W. et Déry, S.J. (2017). « Climate change and resource development impacts in watersheds: Insights from the Nechako River Basin, Canada ». *Canadian Geographer*, 61(2), 196–211. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/cag.12327>>
- PIHPVA [Programme d'infrastructures hydrauliques pour les productions végétales et animales] (s.d.). « Saskatchewan farm and ranch water infrastructure program ». Consulté le 9 avril 2020 sur le site <<https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/canadian-agricultural-partnership-cap/environmental-sustainability-and-climate-change/farm-and-ranch-water-infrastructure-program-fwip>>
- Pizzolato, L., Howell, S.E.L., Derksen, C., Dawson, J. et Coplan, L. (2014). « Changing sea ice conditions and marine transportation activity in Canadian Arctic waters between 1990 and 2012 ». *Climate Change*, 123, 161–173. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-013-1038-3>>
- Province du Nouveau-Brunswick (2016). La transition vers une économie à faibles émissions de carbone : Le plan d'action sur les changements climatiques du Nouveau-Brunswick. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/ClimateClimatiques/LaTransitionVersUneEconomieAFaiblesEmissionsDeCarbone.pdf>>
- Rapaport, E., Manuel, P., Krawchenko, T. et Keefe, J. (2015). « How can aging communities adapt to coastal climate change? Planning for both social and place vulnerability ». *Canadian Public Policy*, 41(2), 166–177. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3138/cpp.2014-055>>
- Reed, M.G., Scott, A., Natcher, D. et Johnston, M. (2014). « Linking gender, climate change, adaptive capacity, and forest-based communities in Canada ». *Canadian Journal of Research*, 44(9), 995-1004. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0174>>
- Ressources naturelles Canada (2015). « Preparing for Storm Surges in Annapolis Royal, Nova Scotia ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/environment/resources/publications/impacts-adaptation/tools-guides/16303>>



Ressources naturelles Canada (2018a). Base de données sur l'énergie dans les collectivités éloignées. L'Atlas du Canada. Consulté en février 2020 sur le site <<https://atlas.gc.ca/rced-bdece/fr/index.html>>

Ressources naturelles Canada (2018b). Dendroctone du pin ponderosa. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/forets-foresterie/feux-de-vegetation-insectes-pert/principaux-insectes-maladies-des/dendroctone-du-pin-ponderosa/13382>>

Rojas-Downing, M.M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T. et Woznicki, S.A. (2017). « Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation ». *Climate Risk Management*, 16, 145–163.

Roussin, R., Wilson, J., Utzig, G. et Lavkulich, L. (2015). « Assessing the potential for pocket agriculture in mountainous regions: A case study in West Kootenay, British Columbia, Canada ». *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 6, 175–188. Consulté en février 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.5304/jafscd.2015.061.016>>

Rutty, M., Scott, D., Johnson, P., Pons, M., Steiger, R. et Vilella, M. (2017). « Using ski industry response to climatic variability to assess climate change risk: An analogue study in Eastern Canada ». *Tourism Management*, 58, 196–204. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.10.020>>

Sauchyn, D. (2017). « Climate change adaptation on the farm and ranch ». *Policy Options*. Consulté en février 2020 sur le site <<http://policyoptions.irpp.org/magazines/may-2017/climate-change-adaptation-on-the-farm-and-ranch/>>.

Savo, V., Morton, C. et Lepofsky, D. (2017). « Impacts of climate change for coastal fishers and implications for fisheries ». *Fish and Fisheries*, 18(5), 877–889. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/faf.12212>>

Sawatzky, A., Cunsolo, A., Gillis, D., Shiwak, I., Flowers, C., Cook, O., Wood, M., the Rigolet Inuit Community Government et Harper, S. (2017). « Profiling the eNuk program: An Inuit-led strategy for monitoring and responding to the impacts of environmental change on health and well-being in Rigolet, Nunatsiavut ». *Northern Public Affairs*, 5(2). Consulté en février 2020 sur le site <http://www.northernpublicaffairs.ca/index/wp-content/uploads/2017/07/npa_5_2_july_2017_pg18-22.pdf>

Schroth, O., Pond, E. et Sheppard, S. R. (2015). « Evaluating presentation formats of local climate change in community planning with regard to process and outcomes ». *Landscape Urban Planning*, 142, 147–158. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.011>>

Science et survie à Fort Conger (2015). « Pourquoi sommes-nous toujours fascinés par Fort Conger ». Consulté en février 2020 sur le site <<http://fortconger.org>>

Shaw, A., Burch, S., Kristensen, F., Robinson, J. et Dale, A. (2014). « Accelerating the sustainability transition: Exploring synergies between adaptation and mitigation in British Columbian communities ». *Global Environmental Change*, 25(1), 41–51. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.gloenvcha.2014.01.002>>

Sorensen, C. (2016). « How snowless ski resorts are adapting to climate change ». MacLeans. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.macleans.ca/economy/business/how-snowless-ski-resorts-are-adapting-to-climate-change/>>

Statham, S., Ford, J., Berrang-Ford, L., Lardeau, M.P., Gough, W. et Siewierski, R. (2015). « Anomalous climatic conditions during winter 2010–2011 and vulnerability of the traditional Inuit food system in Iqaluit, Nunavut ». *Polar Record*, 51(3), 301–317. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247414000151>>

Statistique Canada (2016). Recensement de la population. Ottawa, Ontario, Canada. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CSD&Geo2=PR&Code2=01&SearchType=Begins&SearchPR=01&TABID=1&B1=All&type=0&Code1=3506008&SearchText=ottawa>>

Stoddart M.C.J. et Sodero S. (2015). « From fisheries decline to tourism destination: Mass media, tourism mobility, and the Newfoundland coastal environment ». *Mobilities*, 10, 445–465. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17450101.2013.860281>>

Studio 531 (2019). « Tofino indoor recreation centre ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://tofino.civicweb.net/filepro/document/91262/Recreation%20Facility%20Design%20Report.pdf>>

Sullivan, I. (2018). « Impacts of climate change on Qalipu First Nation communities ». Consulté en février 2020 sur le site <https://grosmorneclimatesymposium.files.wordpress.com/2018/09/impactclimatechangeqfn_slides.pdf>

Taylor, M.M. (2019). « Public health solutions to rural health disparities, Chapter 3 » dans *Rural Health Disparities*. Springer, 25–35. Consulté en février 2020 sur le site <<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-030-11467-1>>

The Ontario Bar Association (2015). « Ontario's climate change discussion paper ». Ottawa, Ontario, Canada. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.oba.org/CMSPages/GetFile.aspx?guid=f35f4dbb-ea42-4178-aa28-a7835e80b568>>

Tschakert, P., Barnett, J., Ellis, N., Lawrence, C., Tuana, N., New, M., Elrick-Barr, C., Pandit, R. et Pannell, D. (2017). « Climate change and loss, as if people mattered: Values, places, and experiences ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(5). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.476>>

- Tschakert, P., Ellis, N., Anderson, C., Kelly, A. et Obeng, J. (2019). « One thousand ways to experience loss: A systematic analysis of climate-related intangible harm from around the world ». *Global Environmental Change*, 55, 55–72. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.11.006>>
- Vasseur, L., Thornbush, M. et Plante, S. (2015). « Gender-based experiences and perceptions after the 2010 winter storms in Atlantic Canada ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12518–12529. Consulté en février 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.3390/ijerph121012518>>
- Vasseur, L., Thornbush, M. et Plante, S. (2017). « Climatic and environmental changes affecting communities in Atlantic Canada ». *Sustainability*, 9(8), 1–10. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su9081293>>
- Vérificateur général du Canada (2018). Perspectives sur l'action contre les changements climatiques au Canada – Rapport collaboratif de vérificateurs généraux. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_otp_201803_f_42883.html>
- Vodden, K., Catto, N., Irvine, M., Parewick, K. et Renaud, N. (2012). « 7 Steps to Assess Climate Change Vulnerability in Your Community. Memorial University, Department of Geography ». Préparé pour l'Atlantic Canada Adaptation Solutions Association et le ministère de l'Environnement et de la Conservation, 1–278 : <https://www.turnbackthetide.ca/pdf/7_Steps_Tool.pdf>
- Vodden, K., Douglas, D., Minnes, S., Markey, S., Reimer, B. et Breen, S. (2019). « Conclusions: Implications for policy and practice », chapitre 10 dans *The Theory, Practice, and Potential of Regional Development: The Case of Canada*, (Éds.) K. Vodden, D. Douglas, S. Markey, S. Minnes et B. Reimer, Routledge, Londres, Royaume-Uni, 212–234. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4324/9781351262163>>
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S., (Éds.) (2014). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 286 p. Consulté en février 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf>
- Weatherdon, L.V., Magnan, A.K., Rogers, A.D., Sumaila, U.R. et Cheung, W.W.L. (2016). « Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism, and human health: An update ». *Frontiers in Marine Science* 3(48). Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00048>>
- Webster, T., McGuigan, K., Collins, K. et MacDonald, C. (2014). « Integrated river and coastal hydrodynamic flood risk mapping of the Lahave River estuary and town of Bridgewater, Nova Scotia, Canada ». *Water*, 6(3), 517–546. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/w6030517>>
- Webster, T. L. (2010). « Flood risk mapping using LiDAR for Annapolis Royal, Nova Scotia, Canada ». *Remote Sensing*, 2(9), 2060–2082. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/rs2092060>>
- Williams L., Fletcher A., Hanson, C., Neapole, J. et Pollack, M. (2018). « Women and climate change impacts and action in Canada ». Consulté en février 2020 sur le site <https://www.criaw-cref.ca/images/userfiles/files/Women%20and%20Climate%20Change_FINAL.pdf>
- Wolf, J., Alice, I. et Bell., T. (2012). « Values, climate change, and implications for adaptation: Evidence from two communities in Labrador, Canada ». *Global Environmental Change*, 23(2), 548–562. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.007>>
- Women's Environment and Development Organization (2018). « Climate change and gender in Canada: A review ». Consulté en février 2020 sur le site <<https://wedo.org/wp-content/uploads/2018/04/GGCA-CA-RP-07.pdf>>
- Young, S., Tabish, T., Pollock, N. et Young, T. (2016). « Backcountry travel emergencies in Arctic Canada: A pilot study in public health surveillance ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3), 276. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/ijerph13030276>>
- Yusa, A., Berry, P., Cheng, J., Ogden, N., Bonsal, B., Stewart, R. et Waldick, R. (2015). « Climate change, drought and human health in Canada ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 8359–8412. Consulté en février 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/ijerph12070835>>



CHAPITRE 4

Ressources
en eau

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteurs coordonnateurs principaux

Hayley Carlson, Global Water Futures Program, Global Institute for Water Security, Université de la Saskatchewan

Alain Pietroniro, Ph. D., ing., Département de génie civil, École d'ingénieurs Schulich, Université de Calgary

Auteurs principaux

Patricia Gober, Ph. D., Global Water Futures Program, Global Institute for Water Security, Université de la Saskatchewan

Wendy Leger, Unité des enjeux relatifs aux eaux limitrophes, Environnement et Changement climatique Canada, gouvernement du Canada

Stephanie Merrill, Global Water Futures Program, Global Institute for Water Security, Université de la Saskatchewan

Auteurs collaborateurs

Laila Balkhi, Université de la Saskatchewan

Sarah Foley, Université de la Saskatchewan

Bob Halliday, R. Halliday & Associates Ltd.

Lawrence Martz, Ph. D., Université de la Saskatchewan

Citation recommandée

Carlson, H., Pietroniro, A., Gober, P., Leger, W., et Merrill, S. (2021) : Ressources en eau; Chapitre 4 dans Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham; gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario.

Table des matières

Messages clés	207
4.1 Introduction	209
4.2 Les changements climatiques posent des risques pour les ressources en eau	210
4.2.1 Changements observés	210
Étude de cas 4.1 : La variabilité extrême du niveau de l'eau dans les Grands Lacs	213
4.2.2 Tendances et projections climatiques	215
4.3 Une coordination efficace entre les systèmes d'eau complexes renforce l'adaptation	217
4.3.1 Introduction	217
4.3.2 Les organisations transfrontalières et de bassins versants	220
Étude de cas 4.2 : Les offices de protection de la nature de l'Ontario et l'adaptation aux changements climatiques dans le bassin versant du lac Simcoe	221
Étude de cas 4.3 : La Commission mixte internationale et la région des Grands Lacs	223
4.3.3 La capacité d'adaptation et la nature changeante de la gouvernance de l'eau	225
4.3.4 Conclusion	228
4.4 L'adaptation progresse grâce à l'innovation et à la gestion adaptative	229
4.4.1 Introduction	229
4.4.2 Les obstacles institutionnels à l'innovation	229
4.4.3 Leadership et champions du secteur de l'eau	230
4.4.4 Participation des intervenants et apprentissage social	231
Étude de cas 4.4 : Aborder la vulnérabilité aux changements climatiques et la gestion durable de l'eau dans le bassin de la rivière Saskatchewan Sud	232
Étude de cas 4.5 : La régularisation des débits sortants des lacs Supérieur et Ontario : faire face à l'incertitude entourant les niveaux d'eau des Grands Lacs	233
4.4.5 Gestion adaptative et expériences dans le secteur de l'eau	234
4.5 Il est indispensable de faire participer le public et de le sensibiliser aux possibilités d'adaptation	239
4.5.1 Introduction	240
4.5.2 Les perceptions relatives à l'eau et aux changements climatiques	241
4.5.3 Obtenir le soutien du public en matière d'adaptation	242
4.5.4 Diversifier les outils politiques	244
Étude de cas 4.6 : L'évolution du discours politique en ce qui concerne les solutions aux dangers associés aux ressources en eau dans les Prairies canadiennes	244



4.5.5 Conclusion	248
4.6 La vulnérabilité des réseaux d'alimentation en eau peut être réduite grâce à des données de qualité et à une conception résiliente	248
4.6.1 Introduction	249
4.6.2 Les systèmes d'information sur l'eau	249
4.6.3 Les infrastructures liées à l'eau	267
Étude de cas 4.7 : Les impacts des changements climatiques sur les infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées à Akwesasne	271
4.7 Aller de l'avant	273
4.7.1 Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche	273
4.8 Conclusion	275
4.9 Références	277

Messages clés

Les changements climatiques posent des risques pour les ressources en eau (voir la section 4.2)

Les changements climatiques mondiaux ont déjà modifié les configurations des pluies, de la neige, de la glace et de la fonte du pergélisol, exacerbant les problèmes actuels de disponibilité et de qualité de l'eau, tout en modifiant la nature des dangers naturels liés à l'eau, tels que les inondations et les sécheresses, et les moments où ils surviennent.

Une coordination efficace entre les systèmes d'eau complexes renforce l'adaptation (voir la section 4.3)

Les organisations et institutions canadiennes sont inégalement préparées à gérer les risques liés à l'eau associés aux changements climatiques. Des partenariats et des réseaux permettent à des organisations à différentes échelles d'accéder à des ressources supplémentaires, de mettre en commun des connaissances et des risques et de renforcer leur capacité d'adaptation. Les organisations transfrontalières et de bassins versants offrent des perspectives utiles sur la coordination efficace des réseaux d'alimentation en eau avec les différents intervenants aux prises avec une grande incertitude.

L'adaptation progresse grâce à l'innovation et à la gestion adaptative (voir la section 4.4)

Partout au Canada, il existe des exemples prometteurs de coordination et d'innovation dans le secteur de l'eau. Dans le cadre de nouvelles approches, on utilise des scénarios pour examiner les performances des stratégies de prise de décision dans un éventail d'avenirs plausibles, mettre en œuvre des processus itératifs de surveillance et d'ajustement des mesures et faire participer les intervenants à l'apprentissage social, préparant ainsi le terrain pour l'innovation et l'adaptation.

Il est indispensable de faire participer le public et de le sensibiliser aux possibilités d'adaptation (voir la section 4.5)

Une adaptation réussie nécessite l'adhésion du public à la science des changements climatiques et au besoin de mettre en œuvre des politiques d'adaptation. La majorité des Canadiens sont en faveur des politiques visant à résoudre les problèmes liés à l'eau, mais la gestion des ressources en eau figure au bas de leur liste des principaux problèmes, après l'économie, les soins de santé et le coût de la vie. Les phénomènes extrêmes, notamment les inondations, les sécheresses et les épisodes de mauvaise qualité de l'eau, peuvent souvent amener au premier plan l'exigence d'une meilleure gestion de l'eau.



La vulnérabilité des réseaux d'alimentation en eau peut être réduite grâce à des données de qualité et à une conception résiliente (voir la section 4.6)

La réduction des vulnérabilités des réseaux d'alimentation en eau implique l'identification des points faibles sous les conditions climatiques actuelles et futures et l'accès à des données de haute qualité et pertinentes à l'échelle locale. Alors que la qualité et la résolution des données pour la surveillance des changements dans des systèmes environnementaux incertains sont variables, des pratiques de conception résilientes sont en cours d'émergence.

4.1 Introduction

L'eau est le vecteur de nombreux impacts des changements climatiques sur la société et l'environnement (GIEC, 2014). L'eau est une ressource qui varie selon l'emplacement, et la vulnérabilité de la société aux dangers liés aux changements climatiques, comme les impacts découlant des inondations et des sécheresses, diffère d'une région à l'autre. La vulnérabilité aux dangers est également attribuable à la capacité des institutions sociétales à se préparer aux nouveaux risques liés aux changements climatiques et à les gérer de façon appropriée.

La disponibilité de l'eau est naturellement limitée et celle-ci n'est pas toujours au bon endroit au bon moment, ni de qualité adéquate ou en quantité suffisante. Partout au Canada, on a conçu et développé des infrastructures et des systèmes de gestion de l'eau importants et variés, essentiellement sur la base de l'hypothèse selon laquelle la variabilité naturelle passée est un indicateur fiable et solide de la variabilité future (Milly et coll., 2008). Avec les changements climatiques, cette hypothèse n'est plus tout à fait fondée, laissant fréquemment les praticiens et les gestionnaires dans le domaine de l'eau confrontés à des décisions difficiles et complexes (Simonovic, 2017).

Le Canada doit relever des défis particuliers pour adapter ses réseaux d'alimentation en eau aux changements climatiques. Ces défis comprennent notre grande masse terrestre, notre géographie variée, notre situation nordique et notre large éventail de régimes climatiques et hydrologiques, couplés à une panoplie d'utilisations avec ou sans consommation qui contrôlent le calendrier et l'approvisionnement des ressources en eau (Statistique Canada, 2017). Il existe, par exemple, plus de 15 000 barrages de différentes tailles gérés par une myriade d'administrations, dont les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, les municipalités, les irrigateurs, les industries et les services publics, à des fins très diverses, notamment l'hydroélectricité, l'approvisionnement en eau, la lutte contre les inondations, et la gestion des mines et des résidus miniers (Association canadienne des barrages, 2019). La nature très fragmentée de la gouvernance de l'eau est également significative. Bien que la responsabilité constitutionnelle de la gestion des ressources en eau incombe principalement aux provinces, la nature de la ressource signifie que les ressources en eau sont régies et gérées par un système complexe d'intervenants et de partenaires, dont les différents ordres de gouvernement, avec la participation de diverses organisations non gouvernementales, de collectivités locales et d'organisations autochtones et environnementales (Renzetti et Dupont, 2017). Une coordination efficace entre ces unités décisionnelles renforce la capacité à partager les risques, à apprendre les uns des autres et à saisir les occasions de réduire la vulnérabilité.

Ce chapitre évalue les connaissances les plus récentes sur la science climatique et hydrologique et les processus d'adaptation, et applique ces connaissances pour aborder les défis, les besoins et les occasions qui attendent les gestionnaires et les planificateurs des ressources en eau du Canada. La science plaide de manière convaincante en faveur de l'action. Cependant, les forces et les capacités des institutions canadiennes de gestion de l'eau à modifier les systèmes de pratiques habituelles sont tout aussi importantes pour évaluer l'adaptation. Dans un pays vaste et diversifié comme le Canada, il n'est pas surprenant que le rythme de l'adaptation soit inégal, avec plus de preuves de réponses innovantes à l'échelle locale et moins de progrès vers des stratégies globales à l'échelle nationale.

Ce chapitre résume les principaux efforts d'adaptation, tout en évaluant la capacité des institutions canadiennes de gestion de l'eau à répondre aux changements climatiques et aux incertitudes et complexités qui y sont associées. Il se penche sur la capacité de ces institutions à planifier un avenir qui pourrait être considérablement différent du passé, à entamer une conversation sur le type d'avenir que la population souhaite pour la gestion de l'eau et sur les politiques nécessaires pour y parvenir. Il n'est pas encore clair si les systèmes de gouvernance, les pratiques institutionnelles et les programmes de surveillance peuvent changer assez rapidement pour empêcher des perturbations importantes et des occasions manquées. Les changements institutionnels au Canada en matière de ressources en eau se font de façon sporadique et souvent selon une approche ascendante, mais les études de cas examinées dans le présent chapitre montrent que les initiatives locales peuvent servir à orienter une action nationale plus solide.

4.2 Les changements climatiques posent des risques pour les ressources en eau

Les changements climatiques mondiaux ont déjà modifié les configurations des pluies, de la neige, de la glace et de la fonte du pergélisol, exacerbant les problèmes actuels de disponibilité et de qualité de l'eau, tout en modifiant la nature des dangers naturels liés à l'eau, tels que les inondations et les sécheresses, et les moments où ils surviennent.

Les impacts des changements climatiques sur le cycle de l'eau se sont déjà produits, entraînant des dommages aux infrastructures, une augmentation des coûts d'exploitation, une perturbation des saisons d'exploitation et une détérioration de la qualité de l'eau par un excès de nutriments et une prolifération d'algues nuisibles. Les changements dans la disponibilité globale de l'eau devraient être plus prononcés à l'avenir, en particulier en cas de scénarios à fortes émissions. Il n'est cependant pas toujours facile d'isoler les effets des changements climatiques des effets causés par le développement humain, tels que le changement d'affectation des terres. Le développement humain peut exacerber ou réduire les changements induits par le climat, en introduisant une quantité considérable d'incertitudes dans le processus d'adaptation.

4.2.1 Changements observés

Les changements climatiques ont déjà affecté le cycle de l'eau dominé par le froid, au Canada, et ont introduit des risques pour la société et l'environnement (voir la figure 4.1). Les augmentations de température moyennes annuelles observées au Canada sont environ deux fois supérieures à la moyenne mondiale et vont jusqu'à plus de trois fois la moyenne mondiale dans le Nord du Canada (Zhang et coll., 2019). [Le Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Bush et Lemmen, 2019) fait la synthèse des preuves scientifiques les plus récentes des impacts des changements climatiques. Les changements observés dans le rapport qui concernent les ressources en eau comprennent :

- **La fonte de la glace, le dégel du pergélisol et la réduction de la durée d'enneigement.** Les glaciers et les champs de glace fondent, s'amincissent et se retirent à un rythme sans précédent. Le pergélisol s'est réchauffé en de nombreux endroits, de la bordure de la forêt boréale à la toundra, et est en train de disparaître le long de ses frontières méridionales. La proportion de l'année avec enneigement et couverture de glace de lac a diminué de 5 à 10 % par décennie depuis 1981 et l'accumulation saisonnière de neige a diminué dans de nombreuses régions (Derksen et coll., 2019). Ces changements sont particulièrement prononcés dans le Nord du Canada et présentent des risques pour l'intégrité structurelle des infrastructures (Lemmen et coll., 2014) et peuvent perturber les routes maritimes et les routes d'hiver (Campbell et coll., 2014; Lemmen et coll., 2014). Avec le temps, ces changements pourraient également introduire de nouvelles occasions d'exploitation minière et de tourisme dans les régions nordiques (Lemmen et coll., 2014; Kovacs et Thistlewaite, 2014) et devraient accroître la productivité des écosystèmes nordiques à mesure que les nutriments deviennent plus facilement accessibles (Orihel et coll., 2017).
- **L'augmentation des précipitations et la transition de neige à pluie.** En moyenne, les précipitations ont augmenté de 20 % dans toutes les régions depuis 1948. Les plus fortes augmentations ont eu lieu dans le Nord du Canada et dans certaines régions du Manitoba, de l'Ontario, du Nord du Québec et du Canada Atlantique. Les précipitations tombent plus souvent sous forme de pluie que de neige, en particulier au printemps et à l'automne (Zhang et coll., 2019). L'augmentation des précipitations et le ruissellement qui s'ensuit ont été liés à un excès de nutriments dans les réseaux d'alimentation en eau, ce qui a augmenté l'incidence des proliférations d'algues nuisibles (McCullough et coll., 2012).
- **Les changements dans les périodes de disponibilité de l'eau.** Le volume total d'eau qui s'écoule dans un bassin fluvial¹ au cours d'une année moyenne montre très peu de changement, mais des changements significatifs dans la chronologie ont été observés (Bonsal et coll., 2019). Il existe un risque croissant que moins d'eau soit disponible pendant les mois les plus chauds pour la production énergétique (Lemmen et coll., 2014) et alimentaire (Campbell et coll., 2014), car une fonte précoce de la neige contribue à réduire les débits estivaux (Bonsal et coll., 2019). L'englacement des rivières et des lacs se produit maintenant plus tard en hiver et sur une période plus courte, tandis que la débâcle se produit plus tôt au printemps (Derksen et coll., 2019). Ces décalages chronologiques peuvent affecter les activités agricoles et industrielles et perturber les schémas naturels auxquels les écosystèmes se sont adaptés (Islam et coll., 2017; Campbell et coll., 2014).
- **Les changements dans la nature des phénomènes extrêmes.** On constate des changements dans la nature des inondations dans certaines régions, avec davantage d'épisodes de pluie sur la neige, de phénomènes causés par les précipitations et d'inondations printanières plus précoces (Bonsal et coll., 2019). Par exemple, les changements climatiques ont joué un rôle dans les pluies extrêmes qui ont contribué à l'inondation de Calgary en 2013 (Teufel et coll., 2017), à l'inondation d'Assiniboine en 2014 (Szeto et coll., 2015) et aux inondations d'Ottawa en 2017 (Teufel et coll., 2019). Les planificateurs municipaux canadiens classent les tempêtes extrêmes et les

1 Un bassin fluvial désigne la surface de terre qui se draine dans une rivière, y compris ses affluents tels que les ruisseaux. Les bassins versants représentent des sous-unités plus petites d'un bassin fluvial qui captent les précipitations et les drainent vers une source d'eau.

inondations comme les deux impacts les plus fréquents des changements climatiques (McMillan et coll., 2019) et ces phénomènes peuvent augmenter les charges de contaminants dans les réseaux d'alimentation en eau, dégradant ainsi la qualité de l'eau (Gooré Bi et coll., 2015; Jalliffier-Verne et coll., 2015). Bien que coûteux, les changements observés dans les sécheresses à ce jour représentent des variations annuelles par rapport à la normale, plutôt que le produit de tendances à long terme liées aux changements climatiques (Bonsal et coll., 2019).

Jusqu'à présent, ces changements observés ont eu des impacts variés sur le débit annuel moyen des rivières et le niveau des lacs (Bonsal et coll., 2019) en raison de la très forte variation au sein des systèmes naturels et de l'augmentation de l'évaporation (Bonsal et coll., 2019; Bush et coll., 2019). Il subsiste une grande incertitude, notamment en ce qui concerne les prévisions relatives à la chronologie, à l'ampleur et à la direction des changements de précipitations. Par exemple, s'il ne semble pas y avoir de tendances détectables en ce qui concerne les pluies extrêmes de courte durée au Canada (Zhang et coll., 2019), d'autres études constatent des tendances à la hausse de ces phénomènes sur de grandes étendues de l'Amérique du Nord (Kirchmeier-Young et Shang, 2020; Poplexiou et Montanari, 2019). Malheureusement, il ne se dégage pas de consensus dans la littérature, en grande partie parce que les pluies sont extrêmement difficiles à simuler, en particulier la convection estivale. En définitive, les changements signalés sont en réalité une mosaïque de changements différents dans l'ensemble du Canada qui sont fortement influencés par des éléments tels que la latitude, l'altitude et la proximité des lacs, ce qui implique qu'une évaluation pancanadienne est nécessairement très locale. En outre, les décisions de gestion humaine liées à l'affectation des terres, à la gestion de l'eau et à l'évolution des conditions socio-économiques (Bonsal et coll., 2019; Statistique Canada, 2017) peuvent réduire ou exacerber les processus liés aux changements climatiques, et peuvent avoir un impact sur le cycle de l'eau du même ordre de grandeur que les changements hydroclimatiques (Döll et coll., 2015). Par exemple, si certains processus des changements climatiques ont été liés à la détérioration de la qualité de l'eau au Canada, un certain nombre d'études ont également constaté des liens étroits entre l'intensification de l'utilisation des terres, la production agricole et le développement urbain (Weiss et coll., 2018; El-Khoury et coll., 2015; Gooré Bi et coll., 2015; Jalliffier-Verne et coll., 2015; Taranu et coll., 2015). Ces composantes de la gestion humaine introduisent des incertitudes considérables dans les projections futures et des complexités dans la prise de décision ultérieure (voir l'étude de cas 4.1).

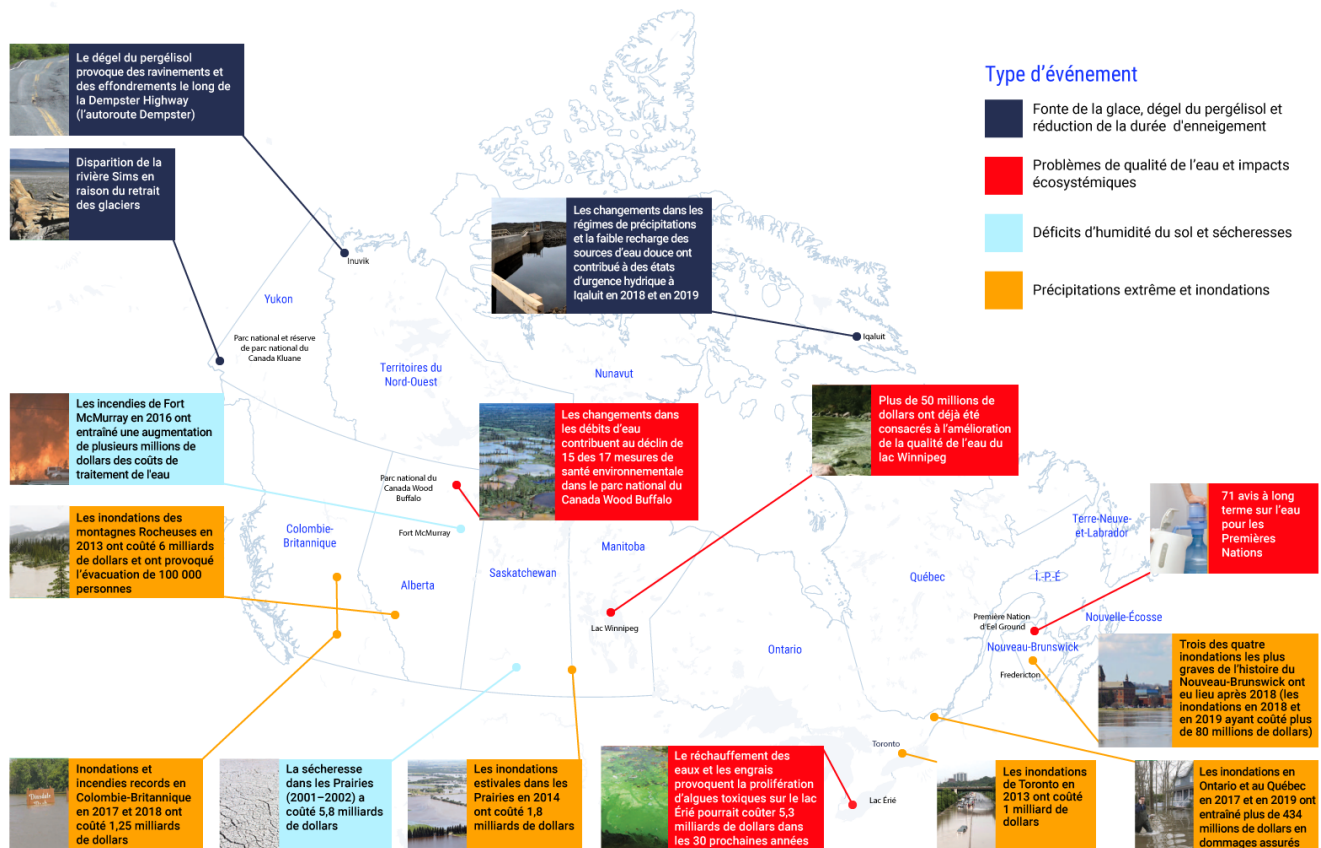


Figure 4.1 : Au Canada, les principaux phénomènes et tendances récents liés aux ressources en eau ont eu des répercussions importantes sur les collectivités et l'économie. Sources : Adapté de Gouvernement du Canada, 2020a, b; Gouvernement du Nouveau-Brunswick, 2019; Bureau d'assurance du Canada, 2019a; McKay, 2019; Ormiston et Sheldon, 2019; Poitras, 2019; Smith et coll., 2019; Wang et Strong, 2019; Abbott et Chapman, 2018; Bakaic, 2017; Environnement et Changement climatique Canada, 2018; Lindsay, 2018; Weber, 2018; Bureau d'assurance du Canada, 2019a, 2017; MacLean, 2017; O'Neill et Burn, 2017; Phillips, 2017; Thurton, 2017; Weikle, 2017; Sills et coll., 2016; Wheaton et coll., 2008; Sécurité publique du Canada, s.d.

Étude de cas 4.1 : La variabilité extrême du niveau de l'eau dans les Grands Lacs

Les Grands Lacs constituent le plus grand système d'eau douce de surface sur Terre et répondent à divers besoins de 30 millions de personnes. Les niveaux d'eau dans l'ensemble des Grands Lacs ont été très élevés en 2019 et ont continué à être élevés en 2020, approchant ou dépassant les niveaux d'eau saisonniers ou les niveaux records enregistrés à différents moments de l'année. En 2019, le lac Supérieur, le lac Sainte-Claire, le lac Érié et le lac Ontario ont tous atteint ou dépassé les niveaux records historiques pour la période enregistrée de 1918 à 2018. Dans le cas du lac Ontario, le nouveau niveau record fixé en 2019 a dépassé le

précédent niveau record fixé seulement deux ans auparavant, en 2017. Le niveau du lac Michigan-Huron, qui a frôlé des niveaux records pendant l'été 2019, est resté élevé tout au long de l'automne et a dépassé les records saisonniers durant l'hiver et le printemps 2020. Les niveaux d'eau élevés ont provoqué des inondations et de l'érosion le long des rives de tous les Grands Lacs, avec des impacts locaux accrus lors de tempêtes générant une action des vagues due au vent (voir la figure 4.2; Office de protection de la nature de Toronto et de la région, 2019; Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2018). Bien qu'elle se trouve en dehors du bassin des Grands Lacs, la rivière des Outaouais a connu en 2019 ses plus grands débits printaniers jamais enregistrés, dépassant son précédent record atteint deux ans plus tôt, en 2017 (Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais, 2019), qui a provoqué des inondations dans tout le bassin de la rivière des Outaouais et en aval sur le fleuve Saint-Laurent. Les collectivités ont dû affronter des situations d'urgence et les organismes de réglementation de l'eau ont essayé d'équilibrer les conditions d'inondation en amont et en aval (Conseil de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais, 2019; Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2018; Conseil international du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent, 2018). Seulement six ans auparavant, les collectivités riveraines des Grands Lacs d'amont s'étaient adaptées à une période de quinze ans de très bas niveaux d'eau, le lac Michigan-Huron ayant atteint un niveau plancher record durant l'hiver 2013 (Gronewold et Rood, 2019; McNeil, 2019).



Figure 4.2 : Niveaux d'eau records et inondations sur un quai près de Saint Catharines, ON (à gauche), et sur une passerelle près de la Place de l'Ontario à Toronto, ON (à droite). Les photos sont une gracieuseté de Environnement et Changement climatique Canada.

Si les fluctuations des niveaux de l'eau sont normales dans les Grands Lacs, ces variations extrêmes entre les niveaux d'eau les plus bas et les plus élevés correspondent à ce à quoi on pourrait s'attendre dans le cadre d'un climat en changement. Les projections pour l'avenir ne se limitent pas à une tendance à la hausse ou à la baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs, mais prévoient plutôt des périodes plus fréquentes de niveaux très élevés ou très bas (Gronewold et Rood, 2019; Mailhot et coll., 2019; Music et coll., 2015; Notaro et coll., 2015). Comme des niveaux d'eau extrêmes ont été enregistrés dans le passé (1918–2018) (Great Lakes Environmental Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019;

Service hydrographique du Canada, 2019), il est difficile de déterminer si les conditions records de 2017 et 2019 sont des événements extraordinairement rares pour le climat de cette région ou des événements relativement rares dans un climat en changement (Great Lakes–St. Lawrence River Adaptive Management Committee, 2018). Une étude sur l'attribution des événements réalisée par Teufel et coll. (2019) montre que des événements tels que la forte accumulation de précipitations d'avril 2017 sur le bassin de la rivière des Outaouais sont entre deux et trois fois plus susceptibles de se produire dans le climat actuel qu'ils ne l'étaient dans le climat préindustriel, puisque l'atmosphère actuelle plus chaude retient davantage d'humidité. Les niveaux d'eau records, hauts et bas, dans l'ensemble des Grands Lacs nous rappellent de façon évidente que ces types de conditions extrêmes sont non seulement plausibles, mais qu'ils se produisent effectivement, avec des preuves croissantes de liens avec les changements climatiques. La planification est difficile dans ce contexte, puisque les collectivités riveraines luttent pour s'adapter à des conditions futures incertaines (Gronewold et Rood, 2019; McNeil, 2019).

Il faut gérer l'incertitude dans le cadre de la planification de l'adaptation, plutôt que d'essayer de l'éviter (Kwakkel et coll., 2016). Les perspectives émergentes de la théorie et de la pratique de la gestion adaptative suggèrent que le renforcement de la résilience, c'est-à-dire la capacité à résister à un large éventail de scénarios, dans les systèmes humains et écologiques est un moyen efficace de faire face aux changements environnementaux caractérisés par une incertitude future (Pahl-Wostl, 2008; Panel on Adaptive Management for Resource Stewardship, 2004). Les techniques de gestion adaptative permettent aux planificateurs et aux praticiens d'aller de l'avant avec des décisions et des mesures qui répondent aux besoins et aux conditions actuels, puis de réagir par des modifications si les conditions changent de manière imprévue (Land Trust Alliance, 2019; Wood et coll., 2017). La Commission mixte internationale a adopté une telle approche de gestion adaptative comme moyen de faire face à l'incertitude future concernant les Grands Lacs (voir l'étude de cas 4.5 et la section 4.4.5 pour des exemples dans la région des Grands Lacs).

4.2.2 Tendances et projections climatiques

Les changements combinés de la phase des précipitations (p. ex. pluie ou neige), de la fonte précoce des neiges, du retrait de la couverture de glace et de la diminution de la masse des glaciers affectent le débit des rivières et le niveau des lacs au Canada. Les tendances futures relevées dans le [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Bush et Lemmen, 2019) et d'autres études comprennent :

- **Une diminution de la disponibilité de l'eau dans les bassins méridionaux, en particulier en été.** À court terme, les précipitations continueront d'augmenter pendant toutes les saisons, mais les précipitations estivales dans le sud du Canada devraient diminuer vers la fin du siècle selon un scénario de fortes émissions (Zhang et coll., 2019). Outre l'augmentation des taux d'évaporation, la fonte précoce de la neige et la diminution de la glace, cette tendance devrait contribuer à réduire les débits annuels dans les bassins intérieurs et les niveaux des lacs dans le sud (Bonsal et coll., 2019), ce qui pourrait déclencher des conflits sociaux et écologiques concernant les ressources en eau de plus en plus rares dans certains bassins (Clark et coll., 2017).

- **Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes liés à l'eau.** Certaines conditions qui augmentent le risque d'inondation, telles que les pluies extrêmes, devraient être plus fréquentes à l'avenir, augmentant le risque d'inondations locales causées par les pluies, en particulier dans les zones urbaines (Zhang et coll., 2019). Les précipitations extrêmes peuvent entraîner la perte de vies humaines ou la destruction de biens (Simonovic, 2017), affecter les opérations minières, le transport de l'énergie et les infrastructures touristiques (Kovacs et Thistlethwaite, 2014; Lemmen et coll., 2014), ainsi qu'accroître l'érosion des sols et le ruissellement des nutriments, dégradant ainsi la qualité de l'eau (Campbell et coll., 2014; Crossman et coll., 2013). On s'attend à ce que les périodes sèches estivales extrêmes soient de plus en plus fréquentes et qu'elles contribuent aux déficits d'humidité du sol conduisant à la sécheresse, en particulier dans le sud des Prairies et dans les régions intérieures de la Colombie-Britannique (Bonsal et coll., 2019; Zhang et coll., 2019).
- **La diminution de la qualité de l'eau et l'augmentation de la prolifération d'algues nuisibles.** Les changements climatiques risquent fort d'exacerber les problèmes actuels liés à la qualité de l'eau (Liu et coll., 2019; Gooré Bi et coll., 2015; Jalliffier-Verne et coll., 2015). En particulier, on s'attend à ce que des températures plus élevées contribuent à la présence accrue d'algues nuisibles à l'avenir, notamment là où les concentrations de nutriments sont déjà élevées (Orihel et coll., 2017; Paterson et coll., 2017).

Les influences des changements climatiques sur le cycle de l'eau ont déjà des impacts sur les secteurs canadiens de l'alimentation, de l'énergie et des ressources naturelles, ainsi que sur les collectivités et l'environnement naturel. Par exemple, les indemnités versées au titre des assurances dommages en réponse à des phénomènes climatiques extrêmes ont plus que doublé tous les cinq à dix ans depuis les années 1980, et le Bureau d'assurance du Canada estime que pour chaque dollar de perte assurée, les propriétaires de maisons et d'entreprises et les gouvernements dépensent de trois à quatre dollars pour des pertes non assurées (Moudrak et coll., 2018). Depuis 2009, les pertes assurées résultant de catastrophes dues à des phénomènes météorologiques violents au Canada, comme les inondations, se sont élevées en moyenne à 1,4 milliard de dollars par an, comparativement à une moyenne de 400 millions de dollars par an pour la période antérieure (Bureau d'assurance du Canada, 2019b).

La réalité actuelle pour les praticiens du domaine de l'eau dans toutes les régions du Canada est que les protocoles de conception et d'exploitation relatifs à la gestion des ressources en eau sont presque exclusivement basés sur une compréhension historique de la ressource. Toutefois, alors que nous passons à l'Anthropocène (c.-à-d. à l'ère où l'activité humaine exerce une influence prédominante sur le climat et l'environnement), tout indique que l'avenir ne ressemblera plus au passé. L'adaptation aux nouveaux changements est rendue plus complexe par l'interaction entre les changements climatiques et le développement humain, et par l'évolution rapide des conditions socio-économiques. Bien que les incertitudes créent des défis pour l'adaptation, elles ne devraient pas être une entrave à l'action. Elles peuvent plutôt servir comme une incitation à faire face à l'incertitude et à développer des systèmes de gestion plus robustes qui peuvent faire face à la variabilité. Le reste de ce chapitre présente une perspective nationale sur les efforts d'adaptation dans le secteur des ressources en eau, en mettant l'accent sur la manière dont les gouvernements, les collectivités et les sociétés civiles s'adaptent à des changements complexes et incertains.

4.3 Une coordination efficace entre les systèmes d'eau complexes renforce l'adaptation

Les organisations et institutions canadiennes sont inégalement préparées à gérer les risques liés à l'eau associés aux changements climatiques. Des partenariats et des réseaux permettent à des organisations à différentes échelles d'accéder à des ressources supplémentaires, de mettre en commun des connaissances et des risques et de renforcer leur capacité d'adaptation. Les organisations transfrontalières et de bassins versants offrent des perspectives utiles sur la coordination efficace des réseaux d'alimentation en eau avec les différents intervenants aux prises avec une grande incertitude.

La gouvernance canadienne des ressources en eau implique principalement les gouvernements provinciaux et municipaux ou régionaux, avec la participation des gouvernements fédéral et autochtones ainsi que des organisations sociétales civiques telles que les groupes de protection des bassins versants, les organisations environnementales, les fondations philanthropiques et les groupes scientifiques et de recherche. Les défis en matière de capacités se posent souvent dans les collectivités rurales, nordiques et autochtones. La coordination, les accords de partage et les partenariats renforcent la capacité à s'auto-organiser, à partager les risques et à intégrer de multiples sources de connaissances (p. ex. scientifiques, autochtones, sociales, praticiennes). Les réseaux renforcent la capacité institutionnelle à faire face à l'incertitude que représentent les changements climatiques et ils appuient les organisations locales, aident à partager les risques et à intégrer de nouvelles formes de connaissances. Les organisations de bassins versants, comme les offices de protection de la nature de l'Ontario, et les organisations transfrontalières, comme la Commission mixte internationale, illustrent les avantages et les défis de la coordination en ce qui concerne les ressources hydriques partagées.

4.3.1 Introduction

Une stratégie commune d'adaptation aux changements climatiques implique une coordination entre les organisations et les institutions. Une organisation est un groupe de personnes se consacrant à un objectif particulier, tel que la recherche ou un but commercial, tandis qu'une institution est un type d'organisation formelle et fait également référence à des systèmes de pratiques, de normes et de lois ou politiques formelles (Hulbert et Gupta, 2017). Par exemple, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) est une organisation qui fournit un rôle de chef de file mondial et d'expert en matière de coopération internationale pour la prestation et l'utilisation de services météorologiques, climatologiques, hydrologiques et des services environnementaux connexes de haute qualité et faisant autorité. L'OMM ouvre la voie à un plus grand bien commun international, tandis que les pays membres maintiennent leur souveraineté et fournissent des fonds à l'OMM pour qu'elle puisse continuer à jouer ce rôle de surveillance. Le Global Institute for Water Security (GIWS) de l'Université de la Saskatchewan et le Water Institute de l'Université de Waterloo sont des exemples d'institutions qui fonctionnent de manière comparable à une organisation. La définition plus large des institutions dans le domaine de l'eau fait également référence aux lois et politiques officielles sur l'eau (p. ex. la loi sur la durabilité de l'eau en Colombie-Britannique), aux accords de gouvernance de l'eau (p. ex. les districts de conservation en Ontario), aux mécanismes de marché (p. ex. le marché de l'eau de l'Alberta),

aux opinions publiques sur l'eau et les changements climatiques et aux attitudes envers la propriété publique et privée, entre autres choses. Les organisations sont régies par des règles et des règlements, tandis que les institutions sont régies par des coutumes et des valeurs. Les institutions canadiennes responsables des ressources en eau ont profondément enraciné la façon dont nous gérons l'eau et elles sont en cours d'adaptation aux risques hydriques liés aux changements climatiques grâce à de nouvelles ententes institutionnelles, à une meilleure coordination, au partage des risques et au renforcement des capacités (Global Water Futures, 2020). La coordination permet aux institutions de répondre plus rapidement et plus efficacement aux défis posés par un climat incertain en définissant des rôles clairs, en favorisant la mise en commun de renseignements et en mobilisant des ressources supplémentaires (Hurlbert et Diaz, 2013; Bakker et Cook, 2011). Les outils de partage des risques répartissent la capacité à se préparer aux impacts des changements climatiques (Thistlethwaite et Henstra, 2017).

Au Canada, la répartition constitutionnelle des pouvoirs entre les gouvernements fédéral, provinciaux, territoriaux et autochtones ainsi que le rôle des organisations municipales et régionales, font que l'adaptation dans le secteur de l'eau se déroule souvent à différentes échelles (Global Water Futures, 2020; Renzetti et Dupont, 2017; Bakker et Cook, 2011; Sandford et coll., 2011; Simms et de Loë, 2010). Ce contexte décentralisé pour la gouvernance peut conduire à un éventail de mesures d'adaptation dans le secteur de l'eau. D'une part, la fragmentation de la gouvernance entre plusieurs autorités peut entraîner des inefficacités et des redondances (Bakker et Cook, 2011) qui contribuent à une utilisation non durable de l'eau (Renzetti et Dupont, 2017), à un retard dans l'élaboration des politiques (Mitchell, 2017) et à une capacité d'adaptation inégale entre les groupes d'intervenants (Hurlbert et Diaz, 2013). Dans d'autres circonstances, la gouvernance décentralisée permet d'inclure de nombreux groupes et peut produire des résultats qui répondent aux besoins locaux (Bakker et Cook, 2011). Souvent, les groupes intermédiaires tels que les organisations de bassin versant (voir l'étude de cas 4.2) et les organisations de gestion des eaux limitrophes (voir l'étude de cas 4.3) peuvent jouer un rôle important de coordination entre les différents groupes d'intervenants (Clancy, 2014). Les municipalités, les collectivités autochtones et les organisations environnementales sont également de plus en plus souvent intégrées aux activités de gouvernance de l'eau et d'adaptation, en partie en raison du fait que le rôle du gouvernement fédéral dans la gouvernance de l'eau a diminué au cours des dernières décennies (voir l'encadré 4.1; Renzetti et Dupont, 2017; Hurlbert et coll., 2015; Bakker et Cook, 2011; Simms et de Loë, 2010; Hill et coll., 2009; Ivey et coll., 2004). Ces divers ensembles de nouveaux intervenants ont souvent des idées novatrices sur la gestion de l'eau et l'adaptation aux risques qui peuvent transformer les institutions existantes (Clancy, 2014).

Idéalement, les réseaux et les partenariats entre les autorités de gouvernance et les intervenants peuvent jouer un rôle important dans le renforcement de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur canadien de l'eau (Bauer et Steurer, 2014). Une coordination efficace suppose que les programmes soient nécessaires, efficaces, cohérents et exhaustifs (de Loë, 2017). L'amélioration des accords de gouvernance de l'eau est importante pour clarifier les rôles et coordonner les politiques à tous les ordres de gouvernement (Bakker et Cook, 2011; de Loë, 2009), mais aussi dans des secteurs autres que celui de l'eau, tels que l'énergie et l'agriculture (de Loë, 2017; Gober, 2013).

Encadré 4.1 : Gestion des inondations au Canada

Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles les plus coûteuses au Canada (Bureau d'assurance du Canada, 2019b; Sécurité publique Canada, 2011). Soixante-quinze pour cent des dépenses annuelles liées aux phénomènes météorologiques dans le cadre du programme fédéral d'Accords d'aide financière en cas de catastrophe sont liées aux inondations (Bureau du directeur parlementaire du budget, 2016).

Historiquement, le gouvernement fédéral a joué un rôle de coordination important dans la réduction des risques d'inondation. En 1970, le Canada a adopté la Loi sur les ressources en eau du Canada afin de concevoir une approche améliorée de la gestion de l'eau qui soit à la fois nationale et exhaustive (Watt, 1995). Le Programme fédéral-provincial/territorial de réduction des dommages dus aux inondations (PRDI) a été lancé en 1976 pour recenser les dangers d'inondation, cartographier les plaines inondables, décourager les aménagements vulnérables aux inondations et encourager une affectation efficace des terres dans les zones inondables. Cette initiative a constitué un tournant important dans l'abandon d'une politique réactive et ad hoc en matière d'inondations au profit d'une approche proactive et d'une philosophie préventive. Entre 1976 et 1999, le PRDI a été le principal mécanisme de coordination des mesures nationales de réduction des risques d'inondation, notamment en facilitant le partage des coûts entre les gouvernements, en appuyant l'élaboration de cartes des risques d'inondation et en aidant à la mise en œuvre de méthodes structurelles et non structurelles de lutte contre les inondations (Scott et coll., 2017; Thistlethwaite et Henstra, 2017; Watt, 1995). À la fin, le programme a désigné 320 zones à risque d'inondation couvrant plus de 900 collectivités urbaines (Ressources naturelles Canada, 2018).

Depuis l'arrêt du PRDI en 1999, la gestion des inondations est devenue très fragmentée et reflète actuellement une capacité d'adaptation inégale à travers le pays. Une étude menée en 2014 sur les approches en matière de risques d'inondation dans l'ensemble du Canada a révélé qu'environ la moitié de la cartographie des inondations existante a été réalisée après l'arrêt du PRDI (Groupe MMM, 2014), 59 % de ces cas se situant en Ontario, 21 % au Québec, 10 % en Colombie-Britannique et les 10 % restants étant répartis dans le reste du pays. Une étude plus récente a révélé que, bien que de nombreuses municipalités canadiennes disposent d'une forme de carte des inondations, la plupart de ces cartes sont de mauvaise qualité et ne sont pas adaptées pour la communication des risques d'inondation au public (Henstra et coll., 2019a). La fragmentation institutionnelle semble être un défi propre au renforcement de la résilience. Lors d'entretiens avec des fonctionnaires municipaux de 15 grandes villes canadiennes, Feltmate et Moudrak (2015) ont constaté que les villes ont fait un minimum de préparatifs en cas d'inondation dans les zones où elles ont une compétence limitée ou partagée, telles que l'alimentation, l'électricité et l'approvisionnement en hydrocarbures. De façon similaire, Morrison et coll. (2018) ont interrogé des experts dans les provinces des Prairies canadiennes et ont indiqué que le manque de coordination entre les différents organismes responsables de la gestion des risques d'inondation était un obstacle au renforcement de la résilience, ce qui se traduit par une répétition des efforts, une expertise cloisonnée et des lacunes en matière de responsabilités.

Les Guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des zones inondables fournissent aux gouvernements et aux organisations des ressources, des conseils techniques et un soutien pour la réalisation d'évaluations des risques et la cartographie des plaines inondables. Le premier document de la série, publié en 2018, facilitera une meilleure pratique nationale commune et augmentera la mise en commun et l'utilisation des

renseignements sur les dangers d'inondation (Ressources naturelles Canada, 2018). De plus, Ressources naturelles Canada et Sécurité publique Canada ont publié les Procédures hydrologiques et hydrauliques fédérales pour la délimitation des plaines inondables en 2019, qui fournit des conseils techniques pour soutenir l'élaboration de cartes des dangers d'inondation dans les territoires de compétence canadiens, notamment sur les différents types d'inondations et sur la façon de tenir compte des changements climatiques dans le processus de cartographie des inondations. Au cours des dernières années, les gouvernements de tous les ordres ont investi dans la mise à jour des cartes des inondations pour l'ensemble du pays, lesquelles sont dépassées et ne répondent pas à de normes cohérentes. Même s'il existe des exemples de collectivités et de territoires de compétence qui intègrent les changements climatiques dans la cartographie des inondations (Ressources naturelles Canada et Sécurité publique Canada, 2018), des orientations de portée générale sur la manière d'aborder les impacts potentiels des changements climatiques sur la cartographie des plaines inondables au Canada sont nécessaires.

4.3.2 Les organisations transfrontalières et de bassins versants

Les organisations canadiennes de gestion des ressources en eau dont les mandats chevauchent des limites de compétence et impliquent divers intervenants ont mis en place des structures institutionnelles de coopération afin de promouvoir une compréhension, une confiance et une capacité communes pour régler de manière coordonnée les enjeux complexes et litigieux liés à la gestion de l'eau. Ces groupes peuvent efficacement relier les processus de prise de décision et les priorités à travers les différents paliers et régions, tout en étant bien placés pour continuer à promouvoir une gouvernance participative et adaptative en matière d'eau (Rouillard et Spray, 2017; Mguni, 2015; Cook et coll., 2013). On s'attend à ce que les organisations transfrontalières jouent un rôle particulièrement important dans la résolution des conflits interrégionaux ou internationaux potentiels concernant l'eau qui pourraient être exacerbés par les changements climatiques (De Stefano et coll., 2012). Cependant, la capacité de ces organisations de continuer à collaborer et de répondre aux risques croissants posés par les changements climatiques n'a pas été suffisamment étudiée (Akamani et Wilson, 2011).

Il existe au Canada toute une série d'organisations régionales ayant des mandats relatifs à la gestion de l'eau, dont beaucoup sont basés sur les limites des bassins versants plutôt que sur les frontières politiques. Citons par exemple les conseils consultatifs et de planification des bassins versants de l'Alberta, les associations de bassins versants de la Saskatchewan, les districts de bassins versants du Manitoba, les organismes de bassins versants du Québec, les groupes de bassins versants de l'Île-du-Prince-Édouard, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, et les offices des eaux du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut. Certains de ces groupes ont un pouvoir législatif, comme les offices de protection de la nature de l'Ontario (voir l'étude de cas 4.2), d'autres sont appuyés financièrement par des programmes des gouvernements provinciaux, comme à l'Île-du-Prince-Édouard et au Nouveau-Brunswick, tandis que d'autres encore existent sous forme d'organismes sans but lucratif ou de groupes gérés par des citoyens, comme le Fraser Basin Council en Colombie-Britannique (Scott et coll., 2017; Conseil canadien des ministres

de l'environnement, 2016). Ces groupes ont joué des rôles clés dans la coordination des mesures de planification de l'adaptation dans l'ensemble du pays (Oulahen et coll., 2018; Mitchell et coll., 2014; Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, 2011; Sandford et coll., 2011). L'approche de la gouvernance par bassin versant peut lier les activités de gestion de l'eau et de l'affectation des terres, tout en permettant la collaboration entre une gamme d'intervenants en amont et en aval (Mguni, 2015).

Étude de cas 4.2 : Les offices de protection de la nature de l'Ontario et l'adaptation aux changements climatiques dans le bassin versant du lac Simcoe

Les offices de protection de la nature de l'Ontario constituent 36 partenariats entre les municipalités et la province, fondés sur les bassins versants et dotés d'un pouvoir législatif « pour entreprendre des programmes fondés sur les bassins versants afin de protéger les personnes et les biens contre les inondations et les autres risques naturels, et de conserver les ressources naturelles en vue de tirer des avantages économiques, sociaux et environnementaux » (Conservation Ontario, 2020; Scott et coll., 2017). Les offices de protection de la nature ont initialement été créés pour favoriser une plus grande coopération et collaboration entre les différents groupes impliqués dans la gestion de l'eau (Mitchell et coll., 2014), et jouent maintenant un rôle clé dans le renforcement de la résilience aux risques liés à l'eau (Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, 2011). Par exemple, l'office de protection de la nature de la région du lac Simcoe (OPNRLS; voir la figure 4.3) était l'un des partenaires impliqués dans un projet pilote regroupant plusieurs partenaires afin de développer une stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour le bassin versant du lac Simcoe, en Ontario. Ce bassin versant couvre environ 330 000 ha où vivent environ 350 000 personnes et génère plus de 200 millions de dollars par an pour l'économie locale, principalement grâce à l'agriculture et aux loisirs (Lake Simcoe Region Conservation Authority, 2016; Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, 2012).

Le plan d'adaptation aux changements climatiques a été rendu possible grâce à un certain nombre de mécanismes législatifs et politiques habilitants, notamment la *Loi sur la protection du lac Simcoe* (la première loi au Canada à ne porter que sur un seul bassin versant), le Plan de protection du lac Simcoe (le premier plan en Ontario à intégrer les considérations relatives aux changements climatiques) et le programme L'adaptation au changement climatique : Stratégie et plan d'action de l'Ontario (2011–2014) (Lemieux et coll., 2014). Avec d'autres partenaires, l'OPNRLS a relevé les vulnérabilités actuelles et futures liées aux changements climatiques, telles que l'assèchement des zones humides et la propagation d'espèces aquatiques envahissantes, en utilisant des scénarios futurs de facteurs de stress climatiques et non climatiques. L'équipe a sollicité des idées d'adaptation et les a classées par ordre de priorité en collaboration avec un comité d'experts, en les organisant selon les thèmes suivants : la mobilisation des gens (p. ex. assurer mobilisation communautaire et la coopération et la coordination entre les organismes), la réduction des menaces (p. ex. encourager et appuyer la conservation de l'eau), le renforcement de la capacité d'adaptation (p. ex. déterminer

dans quelle mesure les plans tiennent compte des biens naturels importants et les protègent) et l'amélioration des connaissances (p. ex. instituer une surveillance normalisée des espèces en péril) (Lemieux et coll., 2014).

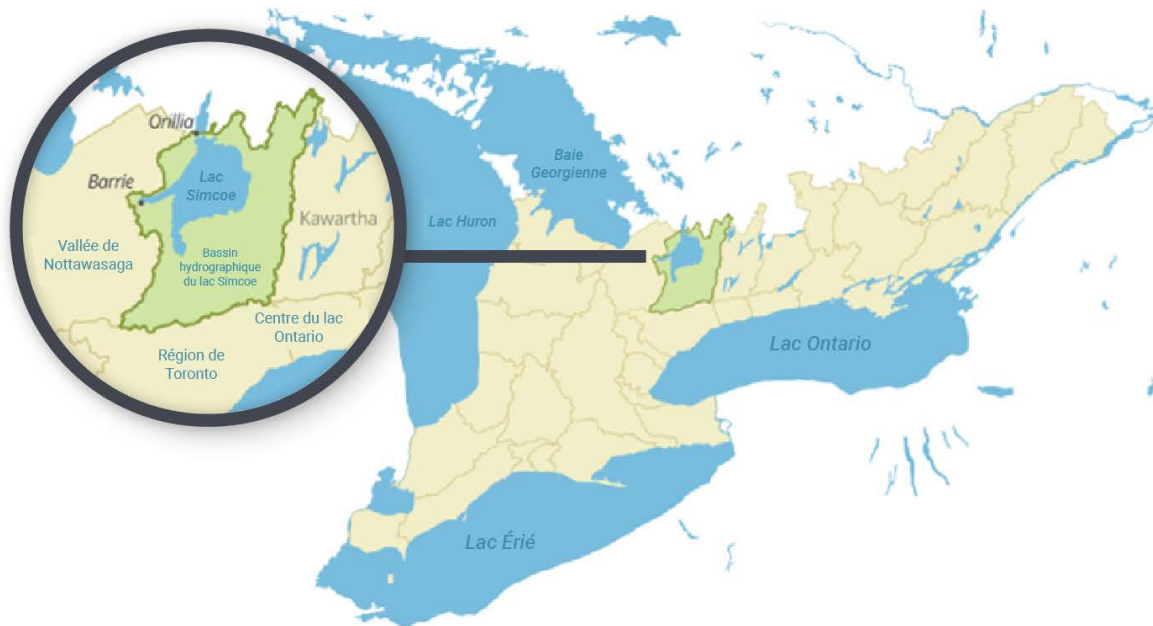


Figure 4.3 : Une carte du bassin versant du lac Simcoe, en Ontario. Source : Lake Simcoe Region Conservation Authority, 2016

L'OPNRLS effectue actuellement à la mise à jour et à l'amélioration du plan d'adaptation du bassin versant du lac Simcoe. Entre-temps, elle renforce la résilience aux impacts des changements climatiques, principalement en faisant la promotion de projets de développement à faible impact, tels que les infrastructures naturelles (voir la section 4.6.3), et en mettant en œuvre une nouvelle politique de compensation du phosphore. L'excès de phosphore provenant des activités d'utilisation des terres et de leurs conséquences, telles que l'agriculture et le ruissellement urbain, constitue une menace majeure pour la santé actuelle du lac Simcoe, car il dégrade la qualité de l'eau et entraîne une croissance excessive des plantes et des algues aquatiques (Weiss et coll., 2018; Lake Simcoe Region Conservation Authority, 2017). Les changements climatiques exacerbent ce processus en contribuant à des événements pluvieux plus extrêmes et en modifiant la chronologie des flux saisonniers, ce qui affecte les volumes de ruissellement dans le lac (Lake Simcoe Region Conservation Authority, 2013). L'OPNRLS collabore avec des partenaires pour améliorer la gestion des eaux pluviales urbaines et a introduit une politique de compensation qui exige que les nouveaux aménagements contrôlent 100 % du phosphore partant de leur propriété (Lake Simcoe Region Conservation Authority, 2019).

Il existe également une variété d'organisations de gestion des eaux limitrophes au Canada. La plus importante d'entre elles est la Commission mixte internationale (CMI), créée en vertu du Traité des eaux limitrophes de 1909. La CMI est une institution binationale pour la résolution des conflits liés à l'eau et la coopération sur les priorités politiques en matière d'eau de part et d'autre de la frontière entre les États-Unis et le Canada. Il existe au total 13 réseaux hydrographiques transfrontaliers régis par le Traité des eaux limitrophes de 1909, dont les rivières Osoyoos, Kootenay et Columbia, les rivières Saint Mary et Milk, la rivière Souris, la rivière Rouge, la rivière à la Pluie et le lac des Bois, les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent (voir l'étude de cas 4.3), le lac Champlain et la rivière Richelieu ainsi que la rivière Sainte-Croix. Nombre de ces réseaux transfrontaliers peuvent compter sur des conseils, des groupes d'études et des comités de la CMI qui se consacrent aux enjeux de la gestion des eaux binationales. D'autres organisations et accords transfrontaliers portent sur les bassins versants communs à plus d'une administration, tels que la Commission des eaux des provinces des Prairies (l'accord-cadre de répartition de 1969), la Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais (accord de 1983 concernant la régularisation du bassin de la rivière des Outaouais) et le Conseil du bassin du fleuve Mackenzie (l'accord-cadre sur les eaux transfrontalières du bassin du fleuve Mackenzie).

Étude de cas 4.3 : La Commission mixte internationale et la région des Grands Lacs

Le rôle de la Commission mixte internationale (CMI) dans la région des Grands Lacs démontre une coordination réussie de la conception et de la mise en œuvre de politiques dans un contexte décentralisé. La région des Grands Lacs abrite l'un des plus grands bassins d'eau douce au monde, lequel répond aux besoins de plus de 30 millions de personnes. La gouvernance régionale de l'eau est caractérisée par un ensemble complexe de politiques et d'accords impliquant deux pays, plus de 75 collectivités des Premières Nations situées le long des côtes, huit États et deux provinces, de nombreuses municipalités et une multitude d'utilisateurs et d'intervenants ayant des rôles et des préoccupations variés. Bien que des questions politiques restent en suspens, les États-Unis et le Canada ont ralenti les dommages écologiques importants dans le bassin (Renzetti et Dupont, 2017; Carmichael et Boyer, 2016), la CMI jouant un rôle clé dans la coordination de la mobilisation des groupes d'intervenants et dans l'achèvement des travaux techniques et politiques relatifs à des questions telles que la réglementation des utilisations partagées de l'eau et de la qualité de l'eau (Johns, 2017). Parmi les activités et les réalisations notables reconnues à l'international (Nations unies, 2015), on peut citer les suivantes :

- Les grandes évaluations transfrontalières intégrées, telles que l'étude du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent (1990–2005) et l'étude internationale des Grands Lacs d'amont (2007–2012). Ces études ont débouché sur des plans de gestion et des règles de fonctionnement souples pour répondre à la variabilité et à l'incertitude du climat (voir l'étude de cas 4.5; Groupe d'étude international des Grands Lacs d'amont, 2012, 2009; Stakhiv et coll., 2006).

- L'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs visant à maintenir l'intégrité chimique, physique et biologique de l'écosystème du bassin des Grands Lacs. Le Protocole de 2012 sur la qualité de l'eau des Grands Lacs, promulgué dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, est l'un des seuls instruments de coordination transfrontaliers au monde à aborder explicitement les impacts des changements climatiques sur la qualité de l'eau (Nations unies, 2015; Gouvernement du Canada et gouvernement des États-Unis d'Amérique, 2012).
- Un cadre de travail sur les changements climatiques (2018) fournissant des orientations aux groupes d'étude transfrontaliers de la CMI pour aborder les changements climatiques dans les politiques et les opérations afin de maintenir la résilience des réseaux hydrographiques canado-américains (Commission mixte internationale, 2018).

Une partie du succès de la CMI peut être attribuée à ses équipes multidisciplinaires, à son engagement véritable avec les intervenants et à sa volonté d'intégrer de nouvelles méthodes d'apprentissage et de mise en commun de l'information (Straith et coll., 2014).

Si les organisations transfrontalières sont de solides forces de coordination dans le secteur de l'eau au Canada, leurs mandats et les ententes de partage de l'eau tiennent rarement compte des changements climatiques. Des vulnérabilités telles que l'absence d'accords de répartition des débits ou de dispositions contre la sécheresse en période de débit faible ou variable ont été constatées dans le bassin du fleuve Columbia (Garrick, 2017) et le bassin de la rivière Rouge (de Loë, 2009). Dans certains travaux techniques, la Commission des eaux des provinces des Prairies, qui supervise le partage de l'eau entre l'Alberta, la Saskatchewan et le Manitoba, a expressément considéré que les changements climatiques et la sécheresse constituaient des facteurs de stress importants, mais elle estime qu'il est plus difficile de prendre en compte les facteurs socio-économiques changeants et incertains, comme le partage volontaire de l'eau (Global Water Futures, 2020). La CMI tient compte des changements climatiques dans plusieurs produits, notamment dans un cadre de travail visant à orienter les considérations relatives aux changements climatiques entre les groupes d'étude transfrontaliers (Commission mixte internationale, 2018), dans l'annexe sur les impacts des changements climatiques de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (Nations Unies, 2015) et dans la création du Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (GAGL) (Commission mixte internationale, 2015). Une approche adaptative de la gestion transfrontalière peut être un moyen efficace de répondre à l'évolution des circonstances et peut comprendre les éléments suivants : des révisions périodiques; des mandats limités; des dispositions spéciales pour répondre aux besoins environnementaux en eau; des mécanismes pour faire face à des circonstances extrêmes, telles que les inondations et les sécheresses; le partage de l'information; la création d'organisations habilitées par les parties à procéder à des ajustements en réponse aux changements de circonstances (voir la section 4.4; de Loë, 2009).

Bien que les organisations de gestion des eaux limitrophes renforcent la capacité d'adaptation du Canada, leur existence ne suffit pas à elle seule. Un manque de leadership dans la coordination des mesures et une incapacité à retenir l'attention politique ont été signalés comme des problèmes qui nuisent aux progrès tant dans la région des Grands Lacs (Johns, 2017) que dans le bassin du fleuve Mackenzie (Morris et de Loë, 2016).

4.3.3 La capacité d'adaptation et la nature changeante de la gouvernance de l'eau

L'accès à un capital technique, humain, social et financier approprié est essentiel à la capacité d'adaptation dans le secteur de l'eau (Hurlbert et Diaz, 2013; Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, 2011). Les praticiens sur le terrain soulignent le déclin des compétences et des ressources techniques (ICF, 2018; Hamlet, 2011; Patino, 2010), le roulement et l'épuisement professionnel du personnel (Global Water Futures, 2020; Moncrieff-Gould et coll., 2018; Straith et coll., 2014) et le manque de financement stable (Moncrieff-Gould et coll., 2018) comme autant de défis à l'adaptation dans le secteur de l'eau (McMillan et coll., 2019; Oulahen et coll., 2018). Les connaissances contextuelles adaptées au milieu, les réseaux et un large éventail de compétences interdisciplinaires sont tous des atouts permettant de renforcer la capacité d'une collectivité à réagir, à survivre et à s'adapter à des situations liées aux changements climatiques telles que les phénomènes météorologiques extrêmes (Global Water Futures, 2020; Straith et coll., 2014).

Les défis en matière de capacités sont souvent plus évidents dans les collectivités et les organisations qui sont les plus vulnérables aux risques associés à l'eau causés par les changements climatiques, notamment les collectivités rurales, nordiques et autochtones (Global Water Futures, 2020; Archer et coll., 2017; Ecology North, 2017; Clancy, 2014; Willox et coll., 2013; Ford et Pearce, 2010; Wall et Marzell, 2006; Ivey et coll., 2004). En conséquence, ces organisations et ces collectivités sont préparées de façon inégale aux impacts des changements climatiques liés à l'eau. Les contraintes en matière de ressources financières sont particulièrement difficiles pour les groupes non gouvernementaux et les collectivités locales. De nombreuses organisations non gouvernementales du secteur de l'eau sont basées sur le bénévolat ou ne disposent pas de possibilités de financement de base stable et simplifié leur permettant de s'engager dans un réseautage efficace entre elles et avec le public sur des enjeux liés à l'eau (Global Water Futures, 2020; Mitchell et coll., 2014; Telfer et Droitsch, 2011). De même, les sources de revenus stables des membres des collectivités rurales et autochtones sont plus susceptibles de subir des perturbations, telles que des inondations sur les terres cultivées ou dans des zones d'alimentation d'importance culturelle (Fletcher et Knuttila, 2018; Lemmen et coll., 2014; Wandel et coll., 2010; Wall et Marzell, 2006). Toutefois, les collectivités ayant récemment subi des perturbations naturelles liées à l'eau, comme des inondations ou des sécheresses, ont généralement une meilleure capacité d'adaptation que celles qui n'ont pas cette expérience (Di Baldassarre et coll., 2015). Par exemple, la variabilité extrême du climat que connaissent depuis longtemps les collectivités rurales des Prairies canadiennes a généralement accru la capacité d'adaptation dans l'ensemble de cette région, grâce à des adaptations telles que l'expansion des infrastructures d'irrigation et la diversification des cultures (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »; Kulshreshtha et coll., 2016; Hurlbert et Diaz, 2013).

En Amérique du Nord, d'importants progrès ont été réalisés au niveau municipal en matière d'adaptation aux changements climatiques (Réseau canadien de l'eau, 2019; Oulahen et coll., 2018). Cependant, les municipalités n'ont souvent pas la capacité de générer les revenus nécessaires à l'entretien et à la modernisation des infrastructures, alors qu'elles sont responsables de 60 % des infrastructures publiques dans l'ensemble du Canada (Global Water Futures, 2020; Moncrieff-Gould et coll., 2018; Thistlethwaite et Henstra, 2017; Miller, 2015). Tandis qu'environ la moitié des municipalités ont entrepris une évaluation des risques encourus par leurs actifs liés à l'eau, moins de 20 % ont officiellement mis en œuvre des stratégies

d'adaptation aux changements climatiques (Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, 2016). D'autres n'ont procédé à aucune évaluation de la vulnérabilité de leur collectivité aux impacts spécifiques aux changements climatiques (McMillan et coll., 2019). Par conséquent, les collectivités sont inégalement préparées à faire face à des phénomènes extrêmes liés à l'eau comme les inondations (Feltmate et Moudrak, 2015).

Les collectivités autochtones ont fait preuve d'une remarquable résilience face aux changements rapides et importants survenus au cours du siècle dernier. Dans le Nord du Canada, où la température se réchauffe trois fois plus vite que la moyenne mondiale (Bush et Lemmen, 2019), les effets des changements climatiques ont été fortement ressentis par les collectivités inuites en raison de la modification des configurations de la glace de mer, de la fonte du pergélisol et de la perte du manteau neigeux et de la couverture de glace (Inuit Tapiriit Kanatami, 2019). Les collectivités ont déjà dû modifier leur comportement pour composer avec ces changements rapides, notamment en chassant en bateau en eaux libres plutôt que sur la banquise, en utilisant des véhicules tout-terrain plutôt que des motoneiges, et en empruntant les routes maritimes plutôt que les routes intérieures endommagées par le dégel du pergélisol (Berkes et Armitage, 2010). Les collectivités inuites ont une grande capacité d'adaptation, grâce à des systèmes de connaissances qui intègrent le changement et l'incertitude ainsi qu'à des pratiques adaptatives, comme la diversification des périodes et des types d'activités rattachées à la terre (Cameron et coll., 2015; Ford et coll., 2015; Berkes et Armitage, 2010). Cependant, la capacité d'adaptation pourrait ne pas être en mesure de suivre le rythme rapide des changements environnementaux survenant dans le Nord. De plus, de nombreuses stratégies traditionnelles inuites pour gérer le changement continuent d'être sapées par les processus coloniaux qui ont gravement affecté les populations autochtones de l'Arctique (Ford et coll., 2017; Ford et coll., 2015). Les collectivités autochtones ailleurs au Canada sont confrontées à des défis similaires, notamment les effets de la pollution industrielle, les impacts en aval de l'exploitation des barrages hydroélectriques et les problèmes socio-économiques persistants, comme le coût élevé de la vie et les possibilités d'emploi limitées, dont beaucoup découlent de l'héritage permanent du racisme systémique et des politiques coloniales (Global Water Futures, 2020; Archer et coll., 2017; Thompson, 2015; Castleden et Skinner, 2014; Clancy, 2014; Magzul et Rojas, 2006). Ces facteurs aggravants entravent la capacité de ces collectivités à envisager et à entreprendre la planification de l'adaptation des ressources en eau. En raison de priorités concurrentes et de capacités humaines et techniques limitées, les collectivités ne sont pas toujours en mesure de tirer profit des ressources financières pour promouvoir et mettre en œuvre des plans d'adaptation, même lorsque ces ressources sont disponibles (Ecology North, 2017; Ford et Pearce, 2010).

Afin d'accroître la capacité d'adaptation, des organisations de partout au Canada créent des partenariats pour faire face aux risques liés à l'eau découlant des changements climatiques. Il existe des partenariats à différentes échelles (nationale, régionale et locale) et pour différents types d'organisations (gouvernement, industrie, université, société civile) qui facilitent la mise en commun des renseignements (Straith et coll., 2014), le renforcement de la confiance et la coopération (Moore et coll., 2014; Patino, 2010) ainsi que l'ajout de ressources techniques et humaines (Global Water Futures, 2020; Dale et coll., 2019; Hamlet, 2011; Cohen et coll., 2006).

Les institutions nationales et internationales soutiennent également l'auto-organisation locale et le réseautage social en ce qui concerne les enjeux liés à l'eau. À titre d'exemple, prenons le Conseil international pour les initiatives écologiques locales (ICLEI), un réseau de gouvernements locaux et d'employés qui fournit

des capacités techniques et des possibilités de mise en réseau et qui, par conséquent, facilite l'adaptation au niveau municipal. Grâce à sa collaboration avec la Fédération canadienne des municipalités, l'ICLEI est un moteur essentiel de la réduction des gaz à effet de serre et de l'adaptation aux changements climatiques au niveau municipal au Canada (Dale et coll., 2019; Guyadeen et coll., 2018). Alors que de nombreuses provinces ont publié des lignes directrices ou des programmes de financement soutenant l'adaptation à l'échelle locale, l'Ontario a été la première province, en 2017, à adopter des règlements obligeant les municipalités à tenir compte des changements climatiques dans la planification de la gestion des actifs (Réseau canadien de l'eau, 2019). Dans d'autres provinces, des politiques clés en matière d'eau, telles que la Water Modernization Act en Colombie-Britannique, le 25 Year Water Security Plan en Saskatchewan et les Guides to Water Withdrawal Approvals en Nouvelle-Écosse, contribuent à soutenir les réseaux de relations sociales et l'auto-organisation. Par exemple, les politiques peuvent fournir des services d'appoint par des journées et des réunions sur le terrain, en pilotant l'application des pratiques proposées, en soutenant les comités consultatifs locaux et en proposant des ateliers dans des secteurs prioritaires tels que les nouvelles normes et lignes directrices (Bizikova et coll., 2013).

Les outils stratégiques de partage des risques sont un autre moyen de renforcer la capacité à traiter les enjeux liés à l'eau découlant des changements climatiques. Les municipalités canadiennes disposent de divers outils de partage des risques pour faire face aux risques liés aux inondations, notamment des programmes d'assistance en cas de catastrophe qui partagent les coûts de rétablissement après une catastrophe entre les gouvernements fédéral et provinciaux (p. ex. le programme ontarien d'Aide aux municipalités pour la reprise après une catastrophe, le Disaster Recovery Program de l'Alberta, le Provincial Disaster Assistance Program de la Saskatchewan) (Morrison et coll., 2018; Thistlethwaite et Henstra, 2017). Bien qu'il existe une diversité d'approches stratégiques en matière d'inondations au Canada (Morrison et coll., 2018), les villes ne tirent pas toujours parti de l'ensemble des outils de partage de risques offerts (Thistlethwaite et Henstra, 2017). Par exemple, les villes de Calgary et de Toronto ajoutent des frais aux impôts fonciers et aux factures de services publics pour financer les infrastructures d'atténuation des inondations et d'adaptation à celles-ci, mais n'appliquent pas de tarification basée sur le risque (un tarif qui est à peu près proportionnel à la contribution de la propriété au risque d'inondation urbaine), comme moyen d'encourager l'adoption de mesures de protection contre les inondations par les propriétaires (Thistlethwaite et Henstra, 2017). En revanche, Edmonton, Mississauga, Kitchener et Waterloo sont des exemples de municipalités qui imposent des frais d'utilisation pour la gestion des eaux pluviales qui sont approximativement basés sur la contribution de la propriété au ruissellement (EPCOR, 2019; Aquije, 2016). S'il existe de nombreuses méthodes pour financer la gestion des eaux pluviales, notamment les impôts fonciers, les droits d'aménagement et les transferts intergouvernementaux, les redevances d'utilisation peuvent offrir un bon équilibre entre la stabilité des recettes perçues et l'équité (Aquije, 2016).

Les organisations trouvent des moyens de maintenir un savoir institutionnel précieux tout en tissant des liens avec diverses communautés de savoir afin d'améliorer la compréhension des enjeux liés à la gestion de l'eau et des solutions possibles. Par exemple, pour la Commission des eaux des provinces des Prairies, la connaissance contextuelle du travail dans un contexte intergouvernemental est très importante. Pour garantir que ces connaissances soient maintenues malgré le roulement de ses membres, le Conseil a entamé un processus de planification de la succession dans le cadre duquel chaque membre identifie un remplaçant qui partage ses responsabilités et peut donc agir en tant que tel en cas de roulement du personnel (Global Water Futures, 2020). Les connaissances autochtones sont également de plus en plus explicitement reconnues

dans les recherches sur l'eau ainsi que dans les mandats et les pratiques des organismes de gestion des ressources en eau. Par exemple, Northern Voices, la stratégie sur les eaux nordiques des Territoires du Nord-Ouest, comprend explicitement des dispositions relatives à la reconnaissance des droits autochtones et considère les connaissances autochtones comme équivalentes à la science (Global Water Futures, 2020; Sandford et coll., 2011). De même, la Red River Basin Commission a conclu avec l'Organisation des chefs du Sud au Manitoba un protocole d'entente engageant les deux partenaires à travailler en collaboration sur des questions telles que la détérioration de la qualité de l'eau et les inondations (Organisation des chefs du Sud, 2018). À Mittimatalik (Pond Inlet), au Nunavut, des jeunes et des partenaires de soutien utilisent les connaissances traditionnelles des aînés de la collectivité en tandem avec des méthodes scientifiques occidentales, telles que l'échantillonnage de l'eau, pour étudier la fréquence croissante des maladies gastro-intestinales dans la collectivité (Inuit Tapiriit Kanatami, 2019). Une intégration réussie des connaissances autochtones peut mettre en évidence des variables qui n'étaient pas considérées auparavant (Sandford et coll., 2011) et fournir des éléments probants supplémentaires sur la signification des changements (Abu et coll., 2019), bien que cela puisse être difficile dans la pratique (Mantyka-Pringle et coll., 2017). Par exemple, bien que le Conseil du bassin du Mackenzie ait pour mandat d'inclure les peuples autochtones et d'intégrer leurs connaissances, il est difficile de représenter correctement les divers intérêts et connaissances des nombreuses collectivités autochtones dans les travaux du Conseil du bassin du Mackenzie (Morris et de Loë, 2016).

Les partenariats peuvent également comprendre le partage du pouvoir décisionnel, comme dans le cas des ententes de cogestion qui ont résulté des accords de revendications territoriales négociés avec les nations autochtones dans l'ensemble du Canada (Latta, 2018; Zubrycki et coll., 2016). Par exemple, dans les Territoires du Nord-Ouest, les Offices des terres et des eaux de la vallée du Mackenzie, du Sahtu, des Gwich'in et du Wek'èezhii sont quatre offices qui assurent la cogestion des ressources naturelles par les gouvernements territoriaux et fédéral du Canada et par les gouvernements de certains des peuples autochtones qui occupent ces territoires (Tsatsaros et coll., 2018; Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2016). Ces ententes de cogestion ont été mises en œuvre avec plus ou moins de succès, mais, dans l'ensemble, on estime qu'elles améliorent l'accès aux ressources et contribuent aux processus d'apprentissage social et d'échange de connaissances, en particulier en ce qui concerne le rapprochement entre les connaissances autochtones et les connaissances issues des sciences occidentales (voir la section 4.4.4; Mantyka-Pringle et coll., 2017; Armitage et coll., 2011).

4.3.4 Conclusion

L'adaptation offre des possibilités de remédier aux vulnérabilités de nos systèmes de ressources en eau. En règle générale, les progrès réalisés au sujet de la coordination des efforts d'adaptation dans le secteur de l'eau sont inégaux dans l'ensemble du Canada. Les collectivités locales, les organisations autochtones et les organisations de la société civile sont de plus en plus impliquées dans la gouvernance de l'eau, mais ont souvent des capacités limitées pour faire face aux impacts des changements climatiques avec efficacité. De nouvelles configurations organisationnelles, telles que les réseaux basés sur les ressources en eau, offrent la possibilité de tirer parti des capacités existantes et d'assurer une coordination efficace entre la multitude de participants impliqués dans l'adaptation afin de réduire les risques liés à l'eau découlant des changements climatiques.

4.4 L'adaptation progresse grâce à l'innovation et à la gestion adaptative

Partout au Canada, il existe des exemples prometteurs de coordination et d'innovation dans le secteur de l'eau. Dans le cadre de nouvelles approches, on utilise des scénarios pour examiner les performances des stratégies de prise de décision dans un éventail d'avenirs plausibles, mettre en œuvre des processus itératifs de surveillance et d'ajustement des mesures et faire participer les intervenants à l'apprentissage social, préparant ainsi le terrain pour l'innovation et l'adaptation.

Bien que des obstacles institutionnels subsistent, des innovations en matière de gestion de l'eau et d'adaptation aux changements climatiques ont eu lieu dans l'ensemble du Canada. L'innovation dans le secteur de l'eau est stimulée par des dirigeants qui proposent de nouvelles idées et forment des coalitions autour de celles-ci, et par la création d'espaces sûrs pour faire l'expérimentation de politiques. La modélisation exploratoire et les exercices fondés sur des scénarios peuvent susciter l'empathie et le consensus entre les intervenants et conduire à l'élaboration de stratégies d'adaptation à « faible regret » ou « sans regret », qui obtiennent d'assez bons résultats dans un large éventail d'avenirs plausibles. La gestion adaptative fournit un processus systématique et itératif de surveillance et de correction des mesures en fonction des nouveaux renseignements et des circonstances changeantes.

4.4.1 Introduction

La gestion de l'incertitude est un élément fondamental de la planification de l'adaptation dans le secteur des ressources en eau. Le même modèle hydrologique ou de qualité de l'eau avec des données d'entrée des conditions environnementales initiales légèrement différentes peut générer des résultats très variés, en particulier aux échelles locales et régionales où la plupart des mesures d'adaptation ont lieu (Gober, 2018). La gestion adaptative vise à anticiper une large gamme de conditions d'avenir et à réduire l'exposition aux risques (Hurlbert, 2018), ce qui conduit à des décisions plus solides face à ces incertitudes.

4.4.2 Les obstacles institutionnels à l'innovation

La rigidité de la gouvernance institutionnelle ainsi que la conception et la planification des réseaux d'alimentation en eau peuvent limiter la capacité du secteur de l'eau à s'adapter aux impacts des changements climatiques. Au Canada, de nombreux réseaux d'alimentation en eau ont historiquement été conçus pour répondre aux besoins de groupes régionaux influents qui s'intéressent à l'eau principalement pour un usage unique, comme l'irrigation ou l'hydroélectricité (Heinmiller, 2017; Clancy 2014). Ainsi, les échecs des politiques et de la gestion peuvent découler d'engagements fixes, tels que des règles d'attribution

de l'eau selon une appropriation historique qui ne tient pas compte des besoins des écosystèmes ou d'une répartition équitable pour des utilisateurs plus récents (Hamlet, 2011; Sandford et coll., 2011). Les systèmes de gouvernance adaptative efficaces sont dynamiques, analytiques, souples et sensibles aux besoins actuels et émergents (Cosens et coll., 2017; Hurlbert et Diaz, 2013). Toutefois, il n'existe pas toujours de soutien institutionnel pour des programmes souples et diversifiés visant à encourager la conception de politiques proactives (Global Water Futures, 2020; Sandford et coll., 2011; Ivey et coll., 2004). Par exemple, l'absence d'un cadre réglementaire souple et d'un système juridique clair concernant les droits de réutilisation de l'eau limite l'adoption d'approches de gestion de la demande pour la conservation de l'eau en Alberta (Alberta WaterSMART, 2013). De façon semblable, peu de mesures sont prises à l'égard du développement du marché des services hydriques et écosystémiques au Canada, ce qui entrave la concurrence pour les activités de conservation et de rétention des zones humides sur les terres privées (Global Water Futures, 2020). Les mesures visant à reconcevoir ou à améliorer les systèmes institutionnels, notamment l'amélioration des infrastructures (Sandford et coll., 2011) et des processus politiques et administratifs (Straith et coll., 2014; Patino, 2010), s'accompagnent parfois de coûts financiers et politiques élevés qui peuvent constituer un obstacle à l'action.

Malgré ces obstacles institutionnels, il existe partout au Canada des foyers d'innovation dans le secteur de l'eau. À l'échelle provinciale, de nombreuses politiques de l'eau ont fait l'objet de réformes au cours des deux dernières décennies, avec un accent renouvelé sur la protection de l'eau potable et des sources d'eau, et une augmentation des organisations décisionnelles basées sur les bassins versants (Bakker et Cook, 2011). Parmi les modernisations notables de la gestion de l'eau, on peut citer les marchés de l'eau de l'Alberta, la stratégie Northern Voices, Northern Waters des Territoires du Nord-Ouest, qui accorde à la nature la priorité à l'égard de l'eau, et les exigences de l'Ontario en matière de tarification et de comptabilisation du coût complet des infrastructures d'approvisionnement en eau (Global Water Futures, 2020; Bakker et Cook, 2011; Sandford et coll., 2011). L'innovation découle souvent de facteurs de soutien locaux et de la création d'espaces sûrs pour l'expérimentation en matière de politiques (Moore et coll., 2014; Straith et coll., 2014).

4.4.3 Leadership et champions du secteur de l'eau

Les organisations et les politiques adaptatives nécessitent un leadership fort pour favoriser une culture institutionnelle de l'innovation (Dale et coll., 2019; Burch, 2010), prendre les risques nécessaires à l'exécution des mandats (Mitchell, 2017; Morris et de Loë, 2016; Hurlbert et Diaz, 2013) et mettre en œuvre et assurer le suivi des plans d'adaptation avec succès (Zubrycki et coll., 2016; Simms et de Loë, 2010). Le leadership peut jouer un rôle important pour habiliter les praticiens de l'eau à accomplir leur travail de la meilleure façon qui soit, en particulier dans un contexte politique fragmenté où il n'y a pas toujours une autorité claire concernant les travaux d'adaptation (Oulahen et coll., 2018). Par exemple, à la Ville de Vancouver, le leadership des représentants élus et des administrateurs municipaux a été jugé essentiel pour faire progresser les efforts d'adaptation aux risques d'inondation (Oulahen et coll., 2018). Burch (2010) détaille également les démarches d'un praticien persuasif du service de planification de la ville, qui a remarqué que les conflits culturels entre le personnel de la planification et celui des opérations ralentissaient les progrès de l'adaptation, et qui a délibérément embauché du personnel qui valorisait la collaboration entre les départements. Ces mesures ont contribué à un changement de paradigme au sein de la ville qui a conduit à la mise en place de systèmes très

réactifs pour faire face à un climat en changement, étant donné les vulnérabilités de la ville de Vancouver et des municipalités environnantes.

Les « champions » de l'eau proposent des innovations, forment des coalitions pour les appuyer et font appel aux intérêts et aux préoccupations des participants au réseau décisionnel (Daniell et coll., 2014). Ils peuvent travailler à l'intérieur ou à l'extérieur d'une organisation (Moore et coll., 2014), mais elles réussissent généralement mieux si elles ont des capacités de mise en œuvre (Daniell et coll., 2014). Il s'agit d'agents de changement, hautement qualifiés pour reconnaître les caractéristiques culturelles et institutionnelles qui inhibent ou favorisent les changements et les stratégies qui peuvent influencer avec succès la mise en œuvre. Ils disposent généralement de solides réseaux formels et informels, sont de bons communicateurs prêts à prendre les risques nécessaires, et sont humbles, respectueux et ouverts aux nouvelles idées. Ils peuvent également être habiles à gérer les relations et à servir d'intermédiaires entre différentes collectivités d'utilisateurs de l'eau et d'autres secteurs pertinents (Hurlbert, 2018; Straith et coll., 2014). Ces compétences sont favorisées par une formation en leadership et des possibilités de négociation.

4.4.4 Participation des intervenants et apprentissage social

Les réseaux de relations sociales et l'apprentissage social sont liés à l'innovation dans les institutions de gestion de l'eau. L'apprentissage social signifie que les personnes apprennent en tant que membre d'un groupe en observant des comportements et leurs conséquences. Les réseaux sociaux relient les praticiens de l'eau à différents types de connaissances et de ressources, ce qui facilite la compréhension et la confiance (Moore et coll., 2014; Gupta et coll., 2010; Folke et coll., 2005). Un engagement des intervenants qui intègre l'apprentissage social permet aux participants d'explorer des pistes d'adaptation et de faire face aux inévitables compromis qui y sont associés.

L'exploration du futur fait souvent intervenir des modèles exploratoires et des exercices participatifs qui permettent d'étudier une gamme de conditions futures potentielles (Maier et coll., 2016). Les scénarios sont des récits cohérents concernant l'avenir de systèmes trop complexes à prévoir (Wiek et coll., 2015). Ils couvrent l'étendue des avènements plausibles (Lemieux et coll., 2014), y compris des événements rares, mais potentiellement dévastateurs, tels que la défaillance d'infrastructures essentielles ou de filières énergétiques. L'élaboration de scénarios met souvent en jeu des intervenants locaux qui partagent leurs points de vue (souvent divergents) sur l'avenir dans le but de faciliter une prise de décision robuste (voir l'étude de cas 4.4 et l'étude de cas 4.5; White et coll., 2015). L'un des objectifs de ces exercices est d'élaborer des stratégies qui fonctionnent raisonnablement bien face à une large gamme de forces sociétales et de changements climatiques plausibles, même lorsque l'on est confronté à des circonstances inattendues (Lempert et coll., 2003). Ils constituent une base solide pour l'établissement d'un consensus et l'action politique chez des intervenants ayant des points de vue différents sur l'avenir, car ils proposent un résultat raisonnable indépendamment de la personne dont le point de vue sur l'avenir s'avère correct. Ils peuvent également identifier des stratégies « sans regret » ou « à faible regret » qui augmentent la résilience climatique et favorisent une bonne gestion de l'eau au sens large, souvent à peu de frais supplémentaires. À titre d'exemples de stratégies, mentionnons: le renforcement de la formation des opérateurs et l'amélioration de la coordination (Casello et Towns, 2017), la mise à niveau des réseaux de surveillance contribuant aux

prévisions (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011) ainsi que la gestion de conservation de l'eau et de la demande en eau (Mguni, 2015; de Loë et coll., 2001). Cette dernière est considérée comme importante dans le secteur municipal en Ontario et dans la stratégie Water for Life de l'Alberta, ce qui a permis d'améliorer l'efficacité et la productivité de l'utilisation de l'eau en Alberta de 30 % entre 2005 et 2015 (Alberta Water Council, 2017). En outre, les scénarios peuvent aider à repérer les comportements potentiellement inadaptés, tels que l'augmentation de la consommation, qui pourraient être associés à de grands projets d'investissement ou d'immobilisations (de Loë et coll., 2001).

Étude de cas 4.4 : Aborder la vulnérabilité aux changements climatiques et la gestion durable de l'eau dans le bassin de la rivière Saskatchewan Sud

Le sud de l'Alberta a récemment connu des inondations et des sécheresses désastreuses. Des pressions supplémentaires dues à une économie et à une population en croissance ainsi qu'à un climat en changement ont considérablement remis en question, et continueront de le faire, la gestion des ressources en eau dans le bassin de la rivière Saskatchewan Sud (BRSS). Pour faire face à ces défis, le projet WaterSMART a travaillé avec des représentants de districts d'irrigation, de municipalités et d'organisations de bassins versants pour élaborer un ensemble de scénarios d'avenir plausibles concernant l'offre et la demande en eau pour le BRSS. Les scénarios reliaient les données des années de sécheresse et d'inondation historiques aux projections climatiques futures et tenaient compte de l'affectation des terres et des changements sociétaux qui pourraient survenir dans le futur, comme la restauration des zones humides, une perturbation majeure des forêts dans les eaux d'amont, une augmentation des demandes en eau et une diminution possible des débits en provenance des États-Unis, résultant de la modification de l'étendue des glaciers et des régimes de précipitations attribuées aux changements climatiques.

On a demandé aux groupes de travail d'élaborer une liste de stratégies d'adaptation pour faire face aux conditions de haut ou faible débit qui pourraient résulter de chaque scénario (Alberta WaterSMART, 2016). Une série de mesures de performance a été élaborée pour aider les participants à évaluer la réussite de chaque stratégie. Les mesures de performance reflétaient un résultat souhaité concernant les ressources en eau du BRSS ou de ses sous-bassins et comprenaient des mesures telles que le pourcentage de jours où les besoins des poissons dans les cours d'eau n'ont pas été satisfaits ou les violations du débit maximal. La performance de chaque stratégie d'adaptation a été évaluée à l'aide d'un modèle de ressources en eau conçu pour le BRSS. Les participants ont utilisé les résultats des simulations pour classer les stratégies d'adaptation à différents niveaux, allant des stratégies qui pourraient améliorer les conditions actuelles à celles qui rendraient le bassin plus résilient face aux changements climatiques dans le futur. Parmi les stratégies jugées les plus prometteuses par le groupe de multiples intervenants pour le bassin de la rivière Saskatchewan Sud, citons les suivantes (Alberta WaterSMART, 2016) :

- élaborer des cadres de partage des pénuries par sous-bassin;
- limiter la construction sur des terrains vierges dans la plaine inondable;



- refondre les politiques d'exploitation des réservoirs en amont de la rivière Bow;
- construire un débit de stockage net dans le sous-bassin de la rivière Bow.

Étude de cas 4.5 : La régularisation des débits sortants des lacs Supérieur et Ontario : faire face à l'incertitude entourant les niveaux d'eau des Grands Lacs

Les niveaux d'eau des Grands Lacs sont principalement déterminés par des facteurs naturels, notamment les changements de précipitations et de température (voir l'étude de cas 4.1), mais sont également partiellement affectés par la régularisation des débits sortants du lac Supérieur et du lac Ontario par des barrages et des structures de contrôle connexes sur la rivière Saint Mary's et des barrages à Cornwall-Massena sur le fleuve Saint-Laurent. Les débits sortants sont gérés à l'aide de plans de régularisation, c'est-à-dire des règles qui déterminent la quantité d'eau libérée par les structures de régularisation dans des conditions hydrologiques et climatiques (hydroclimat) très variables, afin de répondre aux besoins des divers utilisateurs d'eau dans l'ensemble du bassin. La Commission mixte internationale (CMI) a mené des études (Groupe d'étude international des Grands Lacs d'amont, 2012; Groupe d'étude international du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent, 2006) pour évaluer d'autres scénarios de régularisation afin de répondre à des besoins nouveaux et de tenir compte des changements climatiques. Elle a également utilisé l'analyse de scénarios pour revoir les règles de régularisation des débits sortants dans le contexte de la variabilité du climat et des changements climatiques et pour mieux équilibrer les besoins en eau des divers groupes d'intérêt de la région.

Les études de la CMI comprenaient une analyse hydroclimatique détaillée visant à éclairer l'évaluation de l'état actuel de la modélisation des ressources en eau dans la région, la construction d'une chronologie de la variabilité historique du climat et la réduction d'échelle des modèles climatiques mondiaux afin de comprendre l'impact des changements climatiques sur les futurs niveaux d'eau régionaux. En faisant appel à différents scénarios hydroclimatiques pour représenter un large éventail de conditions futures plausibles, cette analyse a révélé une incertitude considérable quant à la manière dont les niveaux d'eau pourraient changer dans le futur, notamment :

- le climat historique (supposé stationnaire) pour anticiper les 30 à 100 prochaines années;
- une large séquence de 50 000 ans d'approvisionnement en eau généré stochastiquement pour chacun des Grands Lacs afin de saisir toute la gamme de la variabilité du climat (sur la base des conditions historiques d'approvisionnement en eau);
- un climat en changement entraînant une diminution ou une augmentation des niveaux d'eau.

En même temps, les chercheurs ont travaillé avec les intervenants pour définir les intérêts liés aux ressources en eau dans le bassin, tels que la production d'hydroélectricité, la navigation commerciale, les propriétés

riveraines, la navigation de plaisance, les utilisations de l'eau et les écosystèmes municipaux et industriels, ainsi que leur vulnérabilité potentielle aux fluctuations des niveaux d'eau. Des indicateurs de performance ou des zones d'adaptation (la gamme de conditions qui seraient considérées comme tolérables) ont été dérivés pour chaque intérêt et une relation entre ces derniers et les niveaux d'eau a été déterminée. Les retours d'information du public et des experts ont conduit les groupes d'étude à recommander que les nouveaux plans de régulation améliorent la santé de l'environnement, réduisent au minimum les dommages causés par les dangers naturels liés à l'eau et augmentent ou maintiennent la viabilité économique de la navigation, de l'hydroélectricité, des loisirs et du tourisme ainsi que de l'industrie.

Les participants à l'étude ont ensuite testé différents ensembles de plans de régularisation en utilisant un « modèle de vision commune » (MVC), une plateforme informatique facile à utiliser qui a permis de développer conjointement des modèles et des plans d'exploitation pour simuler les impacts dans le bassin. Les participants ont utilisé le MVC pour comparer le rendement du plan de régularisation actuel à celui des plans de recharge dans le cadre d'une série de scénarios hydroclimatiques et se sont appuyés sur les indicateurs de rendement et les zones d'adaptation pour envisager des compromis associés aux plans de recharge.

Grâce à ce processus, les groupes d'étude de chacune des évaluations ont réduit les plans de régularisation de recharge à ceux qui étaient les plus aptes à résister aux conditions changeantes, ont continué à équilibrer les impacts et les avantages en amont et en aval, et ont favorisé des débits plus naturels et des avantages écosystémiques dans un éventail de conditions hydroclimatiques. Après une importante consultation publique et gouvernementale, la CMI a mis en œuvre un nouveau plan de régularisation des débits du lac Supérieur (Plan 2012) au début de 2015, puis a adopté en janvier 2017 le Plan 2014 pour la régularisation des débits du lac Ontario. Une stratégie de gestion adaptative a été élaborée pour compléter ces nouveaux plans de régularisation, comme moyen de revoir et de peaufiner les plans de régularisation choisis au fil du temps si les conditions au sein du système venaient à changer. La gestion adaptative compare les résultats observés grâce à la surveillance continue aux résultats simulés afin de perfectionner les simulations au fil du temps. La performance continue des plans de régularisation peut être évaluée dans une gamme de conditions de niveau hydrique et ceux-ci peuvent être formulés et évalués à mesure que les connaissances s'accumulent et que les conditions changent.

*Les rapports finaux de ces études et le processus de gestion adaptative sont disponibles sur le site de la Commission mixte internationale (ijc.org).

4.4.5 Gestion adaptative et expériences dans le secteur de l'eau

De nombreux planificateurs des ressources en eau recherchent des mesures d'adaptation qui sont robustes dans un large spectre de conditions climatiques futures possibles. Bien qu'il n'existe pas de paradigme normalisé pour quantifier la robustesse dans le secteur de l'eau (Whateley et coll., 2016), l'idée de robustesse implique généralement une performance acceptable sur une large gamme de scénarios futurs (Lempert et Groves, 2010; Groves et Lempert, 2007; Lempert et Collins, 2007). Par conséquent, les décideurs doivent

pouvoir à la fois évaluer dans quelle mesure les décisions répondent aux attentes et adapter ces décisions de gestion à mesure que des renseignements supplémentaires sont reçus et que les conditions changent. La gestion adaptative accepte que les décisions soient prises sur la base de renseignements imparfaits et avec un degré élevé d'incertitude. En outre, elle fournit un moyen par lequel il est possible de réviser l'efficacité d'une décision grâce à une surveillance continue des résultats et des préférences des intervenants, de mettre à jour les outils de modélisation et d'évaluation utilisés dans la décision initiale, et de recommander des améliorations, le cas échéant (voir l'encadré 4.2; Groupe d'étude international des Grands Lacs d'amont, 2012). Dans la gestion adaptative, les mesures et les politiques d'adaptation sont conçues pour être souples et font l'objet de mises au point dans le cadre d'un processus itératif d'apprentissage social (Lee, 1999).

Encadré 4.2 : Adaptation vs. gestion adaptative

Les mesures d'adaptation sont des interventions prises pour répondre à des renseignements nouveaux ou différents obtenus grâce à la surveillance et à l'expérience. En termes simples, l'adaptation consiste à prendre des mesures pour changer quelque chose dans l'éventualité où cette même chose ne fonctionnerait pas. Dans la pratique actuelle, il est difficile pour les décideurs politiques et les scientifiques de déterminer comment mesurer la vulnérabilité, la capacité d'adaptation et la résilience en vue de prendre des mesures adaptatives efficaces (Lesnikowski et coll., 2017). L'adaptation est complexe pour de multiples secteurs et disciplines et il n'existe pas de mesure unique et universelle qui corresponde à la réalité de l'adaptation (Ford et King, 2015). Dans un examen de 15 études scientifiques sur les stratégies d'adaptation concernant les ressources en eau, Salerno (2017) a constaté que les stratégies d'adaptation avaient comme faiblesse commune l'incapacité de définir des approches pour traiter les incertitudes (Woodruff, 2016). Plus précisément, les plans d'adaptation ne prévoient généralement pas de processus de mise en œuvre détaillés, ce qui suscite des inquiétudes quant à savoir si les mesures d'adaptation se traduiront par une réduction de la vulnérabilité ou par une mauvaise adaptation (Salerno, 2017).

La gestion adaptative est une approche de l'adaptation qui tient compte du risque et de l'incertitude comme moyens d'acquérir une compréhension basée sur la surveillance continue, la modélisation prédictive, l'évaluation et l'apprentissage. La gestion adaptative fournit un processus structuré et itératif de prise de décision robuste en dépit de l'incertitude, dans le but de parvenir à une réduction de cette dernière au fil du temps par la surveillance des systèmes (Williams et Brown, 2014). La gestion adaptative reconnaît que :

- peu importe l'étendue de nos connaissances, il y a toujours plus à apprendre;
- les conditions sont en constante évolution, parfois de manière inimaginable, et encore moins prévisible;
- les décisions sont prises sur la base des meilleures données probantes disponibles, bien qu'imparfaites, et peuvent ne pas toujours être efficaces.

Le concept de gestion adaptative consiste à remettre en question les décisions (telles que les mesures adaptatives) lorsque les résultats obtenus ne sont pas conformes aux attentes ainsi qu'à procéder aux

ajustements nécessaires à mesure que de nouvelles connaissances sont acquises ou que les conditions changent. En termes simples, la gestion adaptative va plus loin que l'adaptation en assurant le suivi des mesures pour veiller à ce qu'elles fonctionnent comme prévu et, dans le cas contraire, procéder à des ajustements (voir la figure 4.4). La gestion adaptative exige une planification, une collaboration et une modélisation prédictive quantitative de qualité. Une stratégie de gestion adaptative réussie vise à développer et à appliquer des solutions multi-objectifs, souples et durables grâce à des efforts collaboratifs qui incluent (Équipe de travail internationale sur la gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2013) :

- la surveillance et la modélisation pour mieux comprendre :
 - pourquoi et comment les conditions changent;
 - les risques existants et potentiels ainsi que la complexité des problèmes;
 - des mesures de performance pour comprendre le succès des options;
- des outils pour élaborer et évaluer les options en matière d'adaptation;
- des renseignements transparents et auxquels les utilisateurs ont facilement accès;
- une évaluation continue des solutions en fonction des commentaires formulés par rapport aux processus décisionnels;
- des intervenants qui sont pleinement engagés dans les mécanismes visant à éclairer le processus décisionnel.

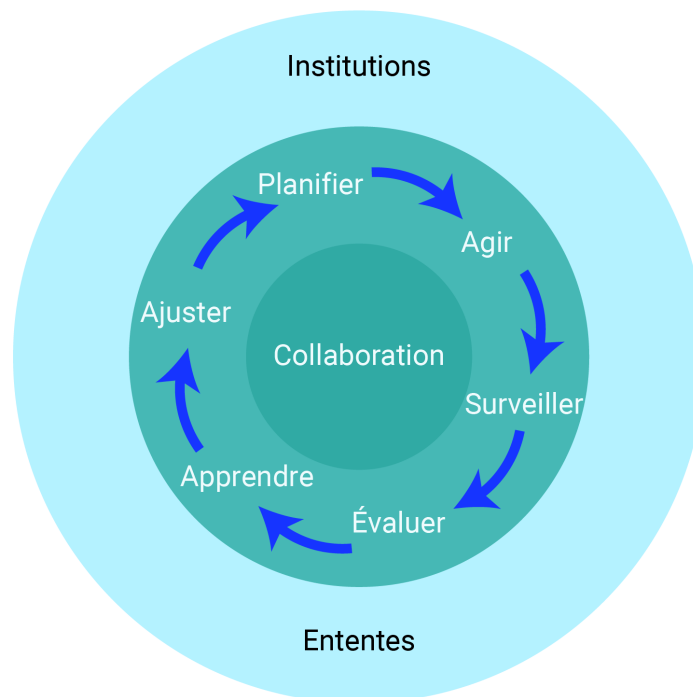


Figure 4.4 : Diagramme illustrant le cycle de la gestion adaptative. Source : Adapté de l'Équipe de travail internationale sur la gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2013.

Les données probantes suggèrent que les cadres canadiens pour la gestion de l'eau varient dans leur capacité à réagir à des événements imprévus. Bizikova et coll. (2013) ont examiné les politiques liées à l'eau en Colombie-Britannique, en Saskatchewan, au Manitoba et en Nouvelle-Écosse afin d'évaluer les éléments représentatifs de l'adaptabilité, tels que la délibération impliquant de multiples intervenants, l'ajustement automatique des politiques et l'analyse intégrée et prospective. Ils ont constaté que ces politiques n'incluent pas toujours des processus explicites de surveillance et de d'examen (Bizikova et coll., 2013). Dans certains cas, les examens formels étaient totalement absents (Roy, 2013), alors que dans d'autres cas, ils étaient spontanés ou n'étaient effectués qu'une seule fois, sans qu'ils ne soient pris en compte dans les révisions politiques formelles (Bizikova et Vodicka, 2013). Dans environ la moitié des politiques examinées, un examen formel était nécessaire, mais aucun rapport public de cet examen n'était disponible et aucune information sur des révisions politiques ultérieures n'était requise (Bizikova et coll., 2013). Enfin, l'équipe a examiné 27 politiques provenant du secteur de l'eau, ainsi que des secteurs agricole et forestier, et les a notées à l'aide de la méthode ADAPTTool, qui évalue l'adaptabilité des politiques ou des programmes par rapport des facteurs de stress ou de changement externe définis, tel que le climat. Malgré le large spectre de politiques rendant difficile la comparaison entre les différents territoires, l'équipe a constaté une grande adaptabilité des politiques présentes (voir la figure 4.5). Les politiques qui obtiennent un score élevé (dans la zone verte) n'étaient généralement pas elles-mêmes vulnérables aux changements climatiques, jouaient un rôle dans le renforcement de la capacité d'adaptation des groupes et étaient conçues pour utiliser des processus à intervenants multiples ou des méthodes prospectives telles que l'analyse de scénarios (Bizikova et coll., 2013).

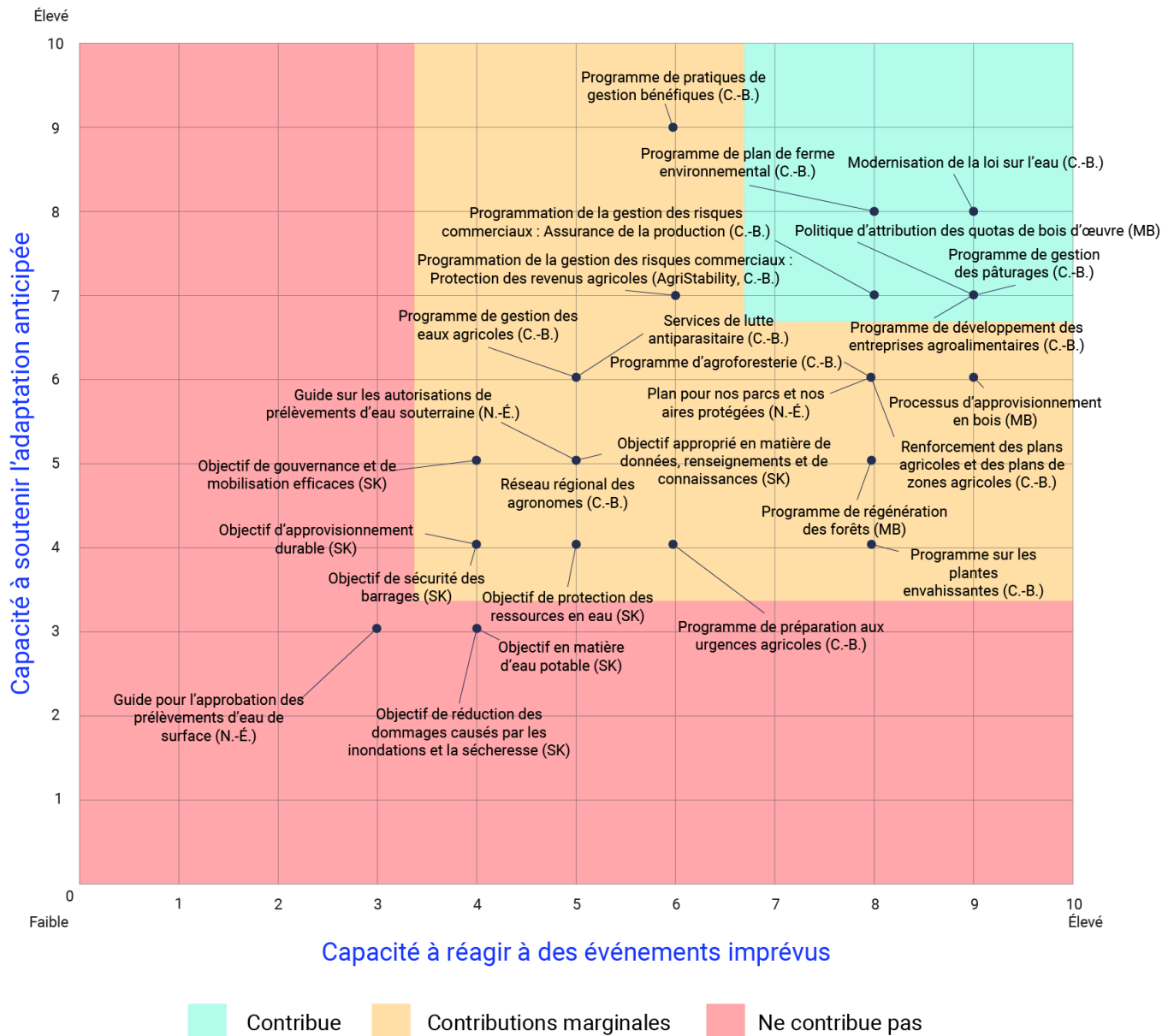


Figure 4.5 : Un aperçu des résultats de la notation ADAPTool (de 1 à 10) pour 27 politiques examinées dans les provinces de la Colombie-Britannique, de la Saskatchewan, du Manitoba et de la Nouvelle-Écosse. L'outil ADAPTool est structuré comme une série de feuilles de calcul Excel qui conduisent les analystes à travers un processus normalisé se déroulant par étapes pour évaluer la capacité des politiques ou programmes existants à soutenir les mesures d'adaptation et l'adaptabilité générale de ces politiques ou programmes mêmes. Source : Adapté de Bizikova et coll., 2013.

La gestion adaptative exige des engagements à long terme, de la collaboration (Global Water Futures, 2020) et du financement ainsi que l'établissement de liens efficaces entre la surveillance scientifique et les

processus décisionnels (Murphy et Weiland, 2014). Bien qu'une gestion adaptative efficace soit difficile à réaliser, on en trouve des exemples dans la gestion des ressources naturelles en général (Williams et Brown, 2014) et dans la gestion des ressources en eau au Canada (Failing et coll., 2013). L'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs de 2012 entre les États-Unis et le Canada inclut la gestion adaptative comme principe directeur afin d'évaluer systématiquement l'efficacité des mesures et d'ajuster les futures mesures pour atteindre les objectifs d'intégrité écologique et en matière d'eau pour le bassin (Commission mixte internationale, 2017). Un effort de gestion adaptative encore plus structuré a été lancé pour les Grands Lacs en 2015 par la CMI grâce à la création du Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (GAGL), chargé de procéder à l'examen et à l'évaluation continus des plans de régularisation des débits sortants du lac Supérieur et du lac Ontario récemment mis en œuvre (voir l'étude de cas 4.5; Commission mixte internationale, 2015). Cette initiative fournit une approche structurée de la gestion adaptative pour répondre aux changements climatiques et relie l'évaluation de la performance des plans directement à la CMI en sa qualité de décideur (Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2018; Clamen et MacFarlane, 2018).

4.5 Il est indispensable de faire participer le public et de le sensibiliser aux possibilités d'adaptation

Une adaptation réussie nécessite l'adhésion du public à la science des changements climatiques et au besoin de mettre en œuvre des politiques d'adaptation. La majorité des Canadiens sont en faveur des politiques visant à résoudre les problèmes liés à l'eau, mais la gestion des ressources en eau figure au bas de leur liste des principaux problèmes, après l'économie, les soins de santé et le coût de la vie. Les phénomènes extrêmes, notamment les inondations, les sécheresses et les épisodes de mauvaise qualité de l'eau, peuvent souvent amener au premier plan l'exigence d'une meilleure gestion de l'eau.

Les Canadiens sont préoccupés par les questions concernant l'eau, et ils veulent que les gouvernements jouent un rôle prépondérant dans la mise en place de pratiques qui protègent les ressources en eau et qu'ils se préparent à faire face aux dangers de nature hydrique. Le fait que cet enjeu ne s'impose pas à l'attention du public, les perceptions erronées sur le fonctionnement des réseaux d'alimentation en eau et les obstacles financiers et techniques peuvent entraver l'adhésion à l'adaptation aux changements climatiques. Les praticiens du domaine de l'eau favorisent le soutien du public en mettant l'accent sur les co-avantages financiers et sanitaires, en s'attaquant aux obstacles qui entravent la mise en œuvre de mesures et en tirant profit des événements liés à l'eau faisant l'objet d'une forte couverture médiatique. Le discours sur les solutions d'adaptation dans le secteur de l'eau s'élargit pour inclure une plus grande variété d'outils politiques visant à traiter les enjeux relatifs à l'eau.

4.5.1 Introduction

Au Canada, l'eau est généralement perçue comme étant de haute qualité, en quantité abondante (Banque Royale du Canada, 2017; Renzetti et Dupont, 2017) et notre ressource la plus importante (Banque Royale du Canada, 2017). Toutefois, les Canadiens effectuent d'importants prélèvements d'eau par habitant par rapport à d'autres pays, ce qui comprend les utilisations vouées à la consommation et à d'autres fins (Conference Board du Canada, 2013), et les questions relatives aux politiques sur l'eau sont classées parmi les plus faibles dans les sondages d'opinion publique, car elles sont considérées comme beaucoup moins importantes que l'économie, les soins de santé et la hausse du coût de la vie (voir la figure 4.6; Banque Royale du Canada, 2017; Clancy, 2014). En fin de compte, ces perceptions influencent l'élaboration des politiques (Heinmiller, 2017; Yates et coll., 2017; Clancy, 2014) et peuvent remettre en question les efforts déployés pour mettre en œuvre des stratégies d'adaptation (Dale et coll., 2019).

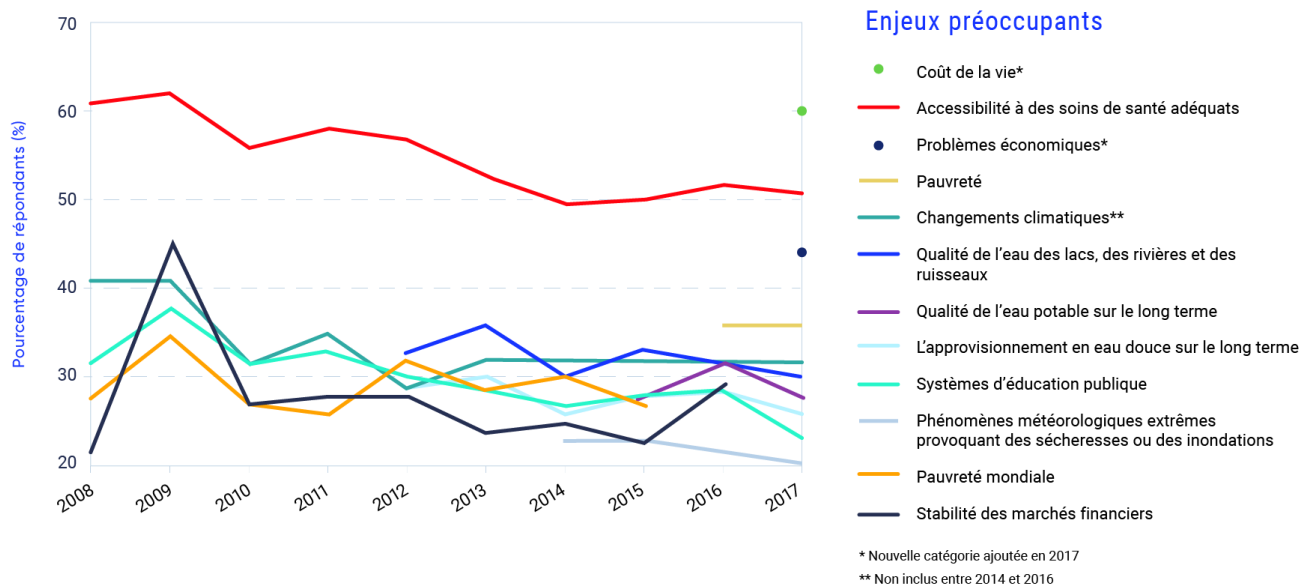


Figure 4.6 : L'étude annuelle de RBC sur les attitudes des Canadiens à l'égard de l'eau, qui demande aux répondants d'indiquer leur degré de préoccupation par rapport à une série d'enjeux, a révélé que les Canadiens et les Canadiennes sont préoccupés par les questions liées à l'eau et aux changements climatiques, mais dans une moindre mesure que par des questions telles que le coût de la vie, la disponibilité des soins de santé et la pauvreté. Source : Adapté de Banque Royale du Canada, 2017.

Les praticiens du secteur de l'eau s'efforcent d'influencer les perceptions en faveur d'une adaptation proactive dans le domaine des ressources en eau (Global Water Futures, 2020). Bien que l'amélioration de la compréhension scientifique puisse mettre en évidence les tendances, les vulnérabilités et les solutions potentielles relativement aux problèmes techniques de gestion de l'eau, les décideurs doivent répondre à des besoins et à des objectifs multiples et souvent contradictoires (Bakker et Cook, 2011) et exigent des processus qui soient attentifs aux attitudes du public. Le roulement politique et les échéances relativement courtes en matière de planification exacerbent cet enjeu (Dale et coll., 2019; Hurlbert et Diaz, 2013; Hamlet, 2011).

4.5.2 Les perceptions relatives à l'eau et aux changements climatiques

Les perceptions relatives aux enjeux politiques sont importantes, car elles influencent les jugements sur l'acceptabilité ou la pertinence des solutions proposées (Stone, 2002). Selon les sondages, la plupart des Canadiens croient que les changements climatiques sont une réalité (Mildenberger et coll., 2016; Lachapelle et coll., 2014) et qu'ils auront un impact négatif sur les réserves et la qualité de l'eau douce du pays (Banque Royale du Canada, 2017). Ils s'attendent à des tempêtes extrêmes, à des inondations de rivières et de zones côtières et à de longues sécheresses plus fréquentes et plus intenses (Akerlof et coll., 2010). Malgré ces préoccupations, le niveau de préparation des Canadiens aux situations extrêmes liées aux ressources en eau est resté faible pendant de nombreuses années. Dans une enquête de la Banque Royale du Canada (2017) menée auprès de plus de 2 000 Canadiens et Canadiennes, seuls 35 % ont déclaré être prêts à faire face aux inondations et à la sécheresse. Dans un autre sondage, la quasi-totalité des 2 300 Canadiens et Canadiennes interrogés estimait que les propriétaires sont les premiers responsables de la protection contre les inondations, mais moins de 30 % d'entre eux appliquent des mesures de protection et seulement 6 % savent s'ils vivent dans une zone désignée comme étant à risque d'inondation (Henstra et coll., 2019b; Thistlethwaite et coll., 2017).

Malgré un certain scepticisme, les politiques climatiques et les mesures gouvernementales visant à protéger les ressources en eau bénéficient d'un large soutien en guise d'alternative à l'inaction (Comeau, 2017; Mildenberger et coll., 2016). Les Canadiens veulent que les gouvernements jouent un rôle important dans la gestion des ressources en eau et dans la préparation aux dangers d'origine naturelle (voir la figure 4.7; Henstra et coll., 2019b; Banque Royale du Canada, 2017), qu'ils appliquent des règlements plus stricts et qu'ils exigent des utilisateurs commerciaux et industriels qu'ils paient la totalité des coûts d'approvisionnement en eau (Real Estate Foundation of Colombie-Britannique, 2018; Banque Royale du Canada, 2017). Ce soutien peut toutefois diminuer en raison de la lassitude et de la politisation de la question des changements climatiques (Groulx et coll., 2014; Pidgeon, 2012).

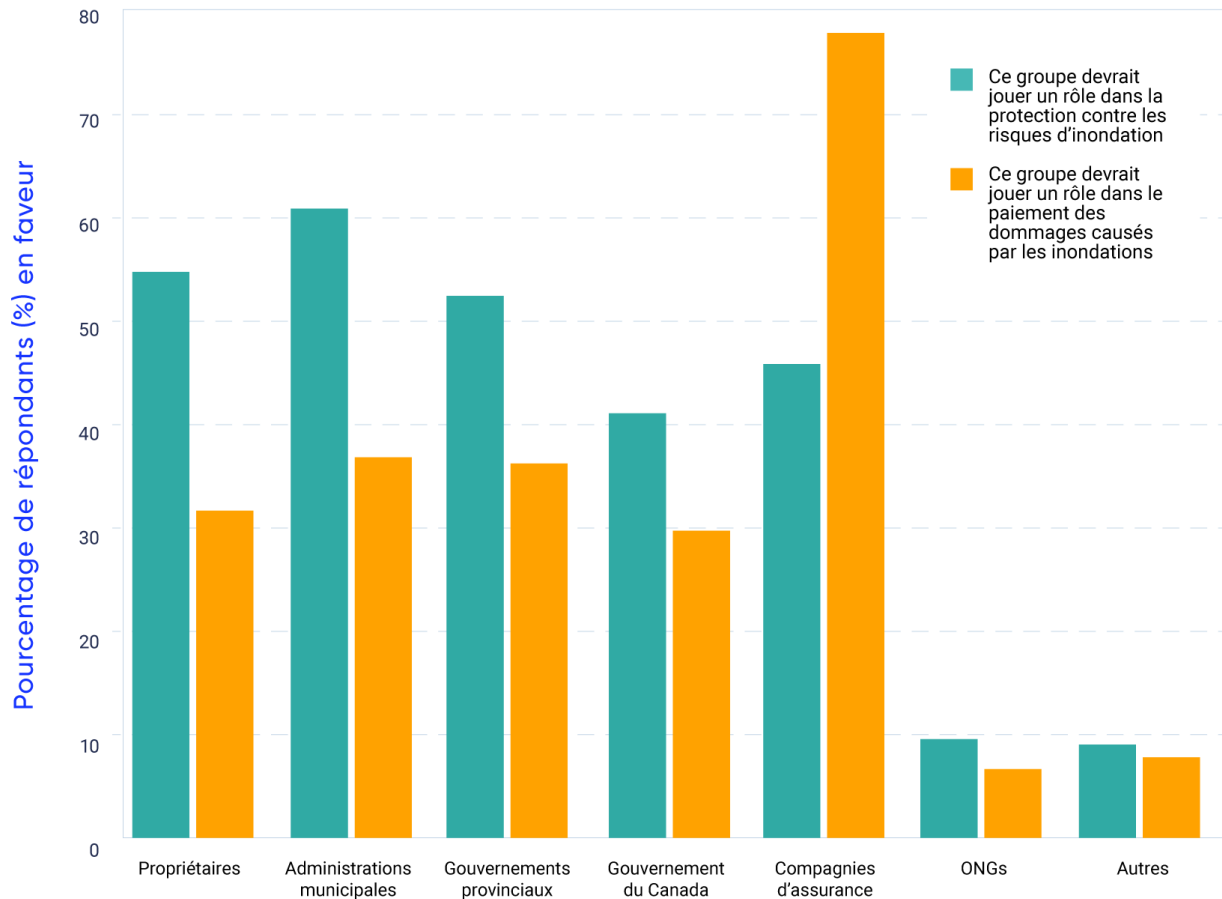


Figure 4.7: A 2016 national survey of Canadians living in “flood risk areas” (as defined by Government of Canada, Figure 4.7 : Un sondage national réalisé en 2016 auprès des Canadiens vivant dans des « zones inondables » (telles que définies par le gouvernement du Canada, 2013), élaboré par des chercheurs de l’université de Waterloo, a évalué les perceptions sur la manière dont la responsabilité associée à la protection de leurs biens et au paiement des coûts liés aux dommages causés par les inondations devrait être partagée entre différentes organisations. Source : Adapté de Thistlethwaite et coll., 2017.

4.5.3 Obtenir le soutien du public en matière d’adaptation

Les inconvénients de l’entretien et la nature « invisible » des services d’approvisionnement en eau constituent des défis supplémentaires pour obtenir le soutien du public en faveur de l’adaptation aux changements climatiques (Association canadienne des eaux potables et usées, 2015). La plupart des infrastructures liées à l’eau sont littéralement « loin des yeux, loin du cœur ». La plupart des gestionnaires et des organismes de réglementation de l’eau considèrent le vieillissement des infrastructures comme le facteur de risque futur

prédominant pour le secteur canadien de l'eau (Global Water Futures, 2020; Moncrieff-Gould et coll., 2018), malgré le fait que seul un Canadien sur cinq estime que des investissements majeurs dans les infrastructures liées à l'eau sont nécessaires (Banque Royale du Canada, 2017). Renforcer le soutien du public en mettant l'accent sur les avantages sanitaires, économiques et environnementaux des investissements dans les réseaux d'alimentation en eau pourrait accroître la probabilité que les décideurs fassent de ces derniers une priorité (Association canadienne des eaux potables et usées, 2015). Ce processus peut consister à présenter l'information relative aux changements climatiques qui concerne les ressources en eau en termes positifs et associés à des solutions cohérentes et constructives (Global Water Futures, 2020; Association canadienne des eaux potables et usées, 2015; Patino, 2010), à intégrer les solutions climatiques dans d'autres domaines stratégiques, comme le développement urbain (Dale et coll., 2019), et à mobiliser les intervenants dès le début des processus d'adaptation (Lemieux et coll., 2014).

Les Canadiens souhaitent que l'information sur les risques liés à l'eau soit pertinente par rapport aux enjeux qui les préoccupent et veulent savoir quoi faire de cette information (Jones-Bitton et coll., 2016; Henrich et coll., 2015; Groulx et coll., 2014). Un sondage récent mené auprès de 2 300 foyers canadiens a révélé que 92 % des personnes interrogées souhaitent que des cartes des risques d'inondation comportant des renseignements sur la réduction des inondations soient mises à la disposition du public et veulent avoir accès à ces renseignements au moment où elles envisagent la possibilité de devenir propriétaires (Thistlethwaite et coll., 2017). La dimension des changements climatiques peut ne pas avoir d'importance si les avantages des mesures d'adaptation sont conformes aux valeurs importantes chères au public cible et entraînent des avantages connexes. Par exemple, malgré les avantages pour la résilience climatique, l'amélioration de la qualité de l'eau est la principale motivation des agriculteurs qui restaurent des terres humides en Nouvelle-Écosse (Sherrin et Verstraten, 2013). D'autres études ont montré que l'élaboration de politiques de gestion de l'eau sur le plan des avantages personnels, tels qu'un coût de la vie moins élevé, un développement économique durable et une incidence moindre des maladies, est plus attrayante pour un plus grand nombre de personnes (Henrich et coll., 2015; Groulx et coll., 2014; Semenza et coll., 2011; Akerlof et coll., 2010). Avec les renseignements nécessaires, les personnes qui se sentent personnellement exposées à un risque ont tendance à être davantage préparées (Semenza et coll., 2011).

Les contraintes financières et temporelles sont également des enjeux qui peuvent empêcher ou ralentir les comportements adaptatifs (Groulx et coll., 2014; Semenza et coll., 2011). Les efforts visant à réduire ces obstacles et à promouvoir les changements de comportement par la formation et la diffusion de normes sociales, de la perception de soi et de la mémoire ont été efficaces dans l'ensemble du Canada (Lieske et coll., 2014; Lo, 2013; McKenzie-Mohr, 2000). Par exemple, après avoir relevé les contraintes financières comme un obstacle majeur à l'adoption de comportements de conservation de l'eau, la ville de Barrie, en Ontario, a introduit un programme de rabais et un système de remboursement sans intérêt pour les appareils électroménagers à faible consommation d'eau et leur installation, ce qui a finalement permis de reporter des millions de dollars de dépenses dans les infrastructures d'eau (Reily, 2004).

Les phénomènes extrêmes liés à l'eau, comme les inondations, les sécheresses et les crises dues à la qualité de l'eau, offrent une occasion d'agir politiquement qui peut renforcer la résilience climatique à long terme (Dale et coll., 2019; Oulahan et coll., 2018). De nombreuses adaptations réussies dans le secteur de l'eau ont été motivées par des réponses institutionnelles à une crise publique (Clancy, 2014). Cela s'est produit après que des inondations et des épisodes de gel et de dégel qui ont causé d'importants dégâts sur les routes

eurent enclenché un processus d'adaptation majeur à Prince George, en Colombie-Britannique (Dale et coll., 2019), et lorsque la protection des sources d'eau a été renforcée après des incidents de contamination de l'eau à Walkerton, en Ontario (en 2000) et à North Battleford, en Saskatchewan (en 2001) (Hurlbert et coll., 2015; Bakker et Cook, 2011; de Loë et Plummer, 2010). De même, les inondations importantes survenues en 2011 et en 2014 dans des collectivités en aval au Manitoba ont de nouveau attiré l'attention sur les avantages de la préservation des terres humides pour la lutte contre les inondations, alors que les tentatives antérieures axées sur la protection de la biodiversité n'avaient pas réussi à motiver une action politique (Global Water Futures, 2020). En conséquence, la Loi sur les bassins hydrographiques durables a été adoptée en 2018, en utilisant une combinaison d'incitations et de dissuasions économiques et un règlement pour promouvoir une politique visant à ce qu'il n'y ait « aucune perte nette de terres humides » dans la province (Stevenson, 2018).

Partout au Canada, les praticiens de l'eau dans utilisent un certain nombre de stratégies pour accroître la visibilité des enjeux liés à l'eau dans le contexte des changements climatiques. Ils devront s'inspirer de ces stratégies et continuer d'innover à mesure que les réseaux d'alimentation en eau deviennent de plus en plus complexes et incertains, et que la faveur du public devient un enjeu encore plus crucial.

4.5.4 Diversifier les outils politiques

Les approches traditionnelles quant aux questions relatives aux ressources en eau sont de nature réglementaire (Simms et de Loë, 2010), mais les chercheurs et les praticiens reconnaissent de plus en plus qu'il ne suffit pas d'utiliser les outils stratégiques conventionnels pour s'adapter à la complexité croissante des systèmes d'approvisionnement en eau (Hurlbert et coll., 2010; Okanagan River Basin Board, 2010; Simms et de Loë, 2010). Les innovations et les variations dans la conception et la mise en œuvre des politiques peuvent réduire les risques, augmenter les chances d'atteindre les résultats souhaités et répondre aux divers besoins des intervenants (Bizikova et coll., 2018; Thistlethwaite et Henstra, 2017). Les conversations concernant les options politiques et les stratégies d'adaptation se multiplient à tous les niveaux (voir l'étude de cas 4.6) et il existe maintenant un ensemble diversifié d'instruments réglementaires, de dépenses, institutionnels et économiques dans les politiques relatives aux ressources en eau dans l'ensemble du Canada (Bizikova et coll., 2018).

Étude de cas 4.6 : L'évolution du discours politique en ce qui concerne les solutions aux dangers associés aux ressources en eau dans les Prairies canadiennes

Une grande partie de la population des provinces des Prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba) s'approvisionne en eau dans le bassin du fleuve Nelson et de la rivière Churchill, le troisième plus grand bassin versant d'Amérique du Nord (voir la figure 4.8; Institut international du développement durable, 2016).

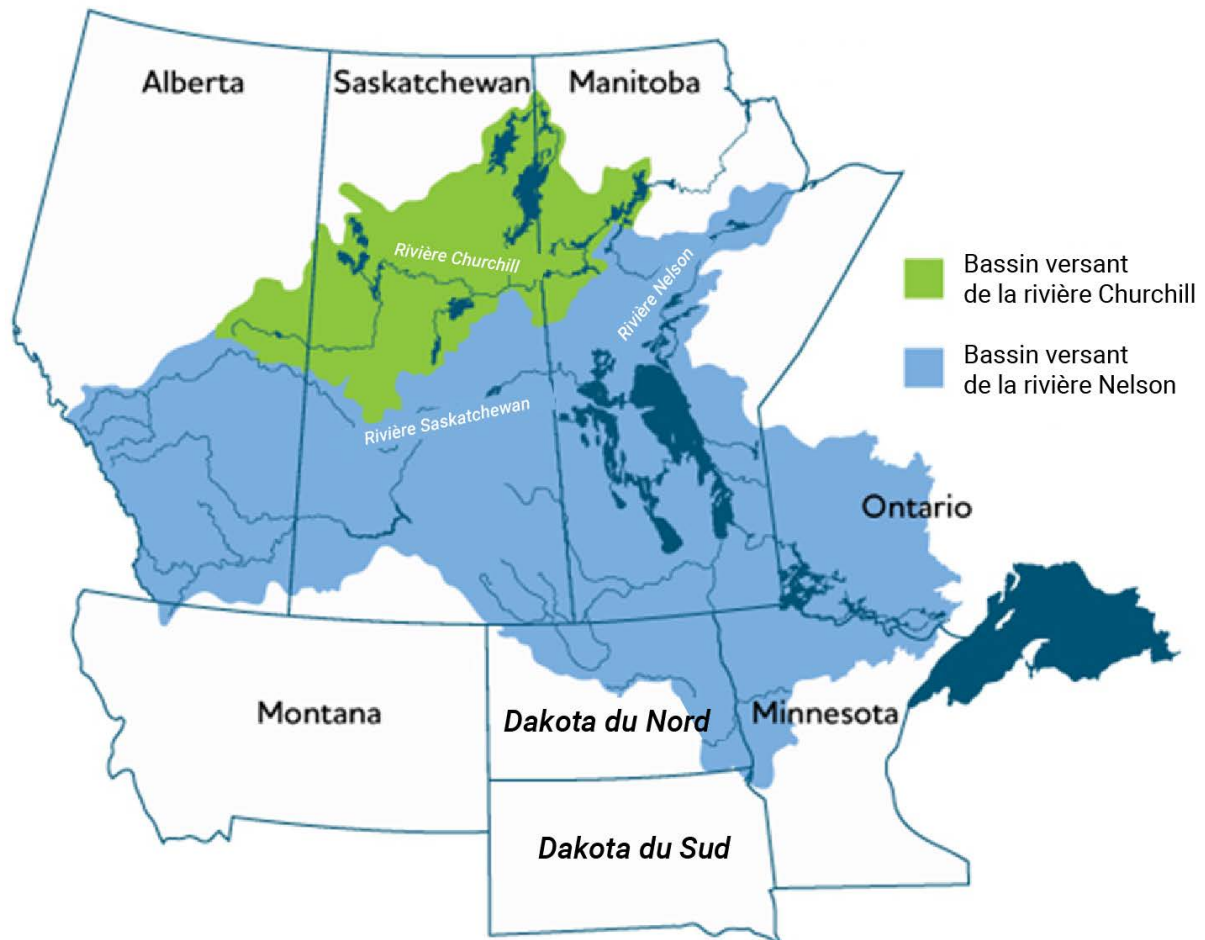


Figure 4.8 : Les bassins versants du fleuve Nelson et de la rivière Churchill. Source : Manitoba Hydropower, s.d.

Dans ce bassin, de nombreuses organisations plaident en faveur de diverses approches pour aborder la gestion actuelle de l'eau, qui sera probablement exacerbée par les changements climatiques. On se penche sur une vaste gamme d'approches stratégiques (voir la figure 4.9). Dans les documents stratégiques et de planification rédigés par ces différentes organisations, les solutions infrastructurelles constituent l'approche la plus discutée pour faire face aux inondations et aux sécheresses dans le bassin versant. Bien que les approches d'infrastructures structurelles conçues par les humains soient le plus souvent évoquées, les approches d'infrastructures naturelles sont également mentionnées et parfois privilégiées, comme dans le cas de l'amélioration de la qualité de l'eau (voir le tableau 4.1).

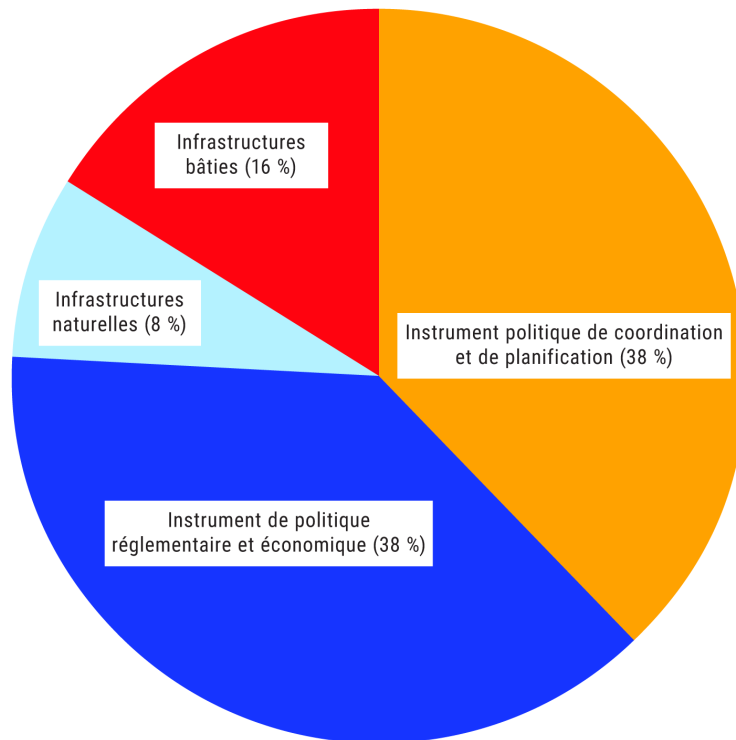


Figure 4.9 : Pourcentage de dialogue dans les documents stratégiques et de planification dans l'ensemble du bassin Nelson-Churchill au sujet de quatre instruments stratégiques pour traiter les enjeux relatifs à l'eau. Voir le tableau 4.1 pour des exemples précis.

Tableau 4.1 : Exemples d'instruments et d'options stratégiques pour répondre aux dangers liés à l'eau dans le bassin du fleuve Nelson et de la rivière Churchill

INFRASTRUCTURES BÂTIES	INFRASTRUCTURES NATURELLES	COORDINATION ET PLANIFICATION	RÉGLEMENTAIRES ET ÉCONOMIQUES
<ul style="list-style-type: none">• Construction de digues et de canaux d'évacuation des crues• Installation d'un drainage par canalisations• Modernisation des évacuateurs de crues et des barrages selon de nouvelles normes de conception adaptées aux conditions extrêmes	<ul style="list-style-type: none">• Préservation et restauration des terres humides• Augmentation de la matière organique du sol sur les terres agricoles	<ul style="list-style-type: none">• Planification des interventions en cas d'urgence• Ententes de coopération• Plans coordonnés de lutte contre la sécheresse et les inondations	<ul style="list-style-type: none">• Rationnement imposé de l'eau• Sanctions légales en matière de drainage• Indemnisation des victimes d'inondations• Crédits d'impôt pour la gestion des zones riveraines (terrains en bordure des rivières et des ruisseaux)• Tarification ou surtaxe de l'eau

Source : Global Water Futures, 2020.

Il a été grandement question de l'amélioration de la coordination et des politiques organisationnelles dans l'ensemble du bassin comme moyen de renforcer la capacité à réagir efficacement aux dangers liés à l'eau. Cela implique la planification proactive (p. ex. des stratégies coordonnées pour la sécheresse, les terres humides et le drainage ainsi que les espèces envahissantes), l'augmentation de la capacité des ressources financières et humaines (p. ex. le financement fiable des groupes de ressources en eau, l'offre d'un soutien technique aux collectivités, l'augmentation des possibilités de financement) et l'élaboration de règles et de procédures d'exploitation visant à renforcer la résilience pour pouvoir résister à de nouveaux extrêmes. Un exemple de ce dernier aspect est l'accord de cinq ans entre TransAlta et le gouvernement de l'Alberta, qui permet au ministère de l'Environnement et des Parcs de l'Alberta de modifier le niveau des réservoirs appartenant à TransAlta sur la rivière Bow afin d'augmenter les débits pendant les années sèches et de disposer d'un stockage supplémentaire pendant les périodes humides (Gouvernement de l'Alberta, 2018).

Il existe des différences dans les stratégies et les approches de promotion entre les organisations ayant

des rôles différents dans la gouvernance de l'eau (Global Water Futures, 2020). Par exemple, les groupes environnementaux et sans but lucratif ont tendance à privilégier la communication de renseignements et le travail de mobilisation communautaire et à préférer une approche de la gestion de l'eau fondée sur la réglementation, tandis que les organisations agricoles et industrielles préfèrent discuter de solutions fondées sur le marché pour relever les défis de la gestion de l'eau, comme le financement de la modernisation des infrastructures pour améliorer l'efficacité, la subvention des pratiques de gestion exemplaires et la mise en place de régimes d'assurance.

4.5.5 Conclusion

L'adaptation aux changements climatiques dans le secteur de l'eau implique le renforcement des capacités de planification et de gestion de l'eau, la mobilisation de la population à l'égard des investissements ainsi que des changements institutionnels et comportementaux. La mobilisation multisectorielle et l'amélioration des possibilités d'apprentissage social parmi les scientifiques, les professionnels de l'eau, les organisations de la société civile et le grand public sont essentiels pour construire une infrastructure sociale qui favorise la prise de décision adaptative dans le secteur de l'eau. Le partage des connaissances sur la nécessité d'agir et les conséquences de l'inaction permettrait d'accroître le soutien de la population aux mesures politiques.

4.6 La vulnérabilité des réseaux d'alimentation en eau peut être réduite grâce à des données de qualité et à une conception résiliente

La réduction des vulnérabilités des réseaux d'alimentation en eau implique l'identification des points faibles sous les conditions climatiques actuelles et futures et l'accès à des données de haute qualité et pertinentes à l'échelle locale. Alors que la qualité et la résolution des données pour la surveillance des changements dans des systèmes environnementaux incertains sont variables, des pratiques de conception résilientes sont en cours d'émergence.

Étant donné que les ressources sont limitées pour relever les nombreux défis complexes et généralisés liés à l'eau, il est important de cerner les zones et les secteurs qui sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques et qui nécessitent une attention particulière en matière de gestion. Pour remédier à ces vulnérabilités, les praticiens doivent avoir accès à des données de haute qualité et pertinentes à l'échelle locale. Bien qu'il existe de nombreuses sources d'information et à différentes échelles sur les

réseaux d'alimentation en eau et les futurs impacts climatiques dans l'ensemble du Canada, il existe des variations considérables dans la qualité et dans la résolution temporelle et spatiale des données disponibles. La conception et la gestion des infrastructures sont souvent basées sur des renseignements historiques qui n'ont plus la même pertinence dans un contexte de changements climatiques. Les exigences relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation évoluent pour pallier ces vulnérabilités. Le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) (Ingénieurs Canada, s.d.) et l'utilisation des infrastructures naturelles se sont révélés être des outils essentiels pour aborder la vulnérabilité aux changements climatiques des infrastructures de ressources en eau au Canada.

4.6.1 Introduction

De nombreuses évaluations de la vulnérabilité et des risques liés aux changements climatiques et à l'eau ont été menées dans l'ensemble du pays, à différentes échelles et pour différents enjeux. Par exemple, des évaluations ont été effectuées dans la région de l'Atlantique pour les zones côtières et les ressources en eau (p. ex. Cochran et coll., 2012; Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador, 2012; AMEC Environment & Infrastructure, 2012; Ferguson et Beebe, 2012), au Québec pour la qualité et l'utilisation de l'eau (p. ex. Jalliffier-Verne et coll., 2017; Tremblay, 2016; Carrière et coll., 2010), dans la région des Grands Lacs pour les terres humides et les écosystèmes aquatiques (p. ex. Tu et coll., 2017; Chu, 2015; Lemieux et coll., 2014; Mortsch et coll., 2006), dans les Prairies pour les sécheresses et les inondations (p. ex. Wittrock et coll., 2018; KGS Group, 2016; Thomson Agri-Environmental, 2011a, b; Magzul et Rojas, 2006), en Colombie-Britannique pour l'hydroélectricité et les inondations côtières (p. ex. Associated Engineering [C.-B.] Ltd, 2018; Northwest Hydraulic Consultants Ltd, 2014; Jost et Weber, 2013) et dans le Nord du Canada pour le dégel du pergélisol et des réserves d'eau vulnérables (p. ex. BGC Engineering, 2011; Goulding, 2011; Nesbitt, 2010).

Les synthèses de ces évaluations soulignent la diversité des méthodologies et des organisations (p. ex. les organisations de bassin versant, les universités, les gouvernements) impliquées (Perdeaux et coll., 2018) ainsi que les défis techniques liés à la définition de toute une série d'impacts et de dangers liés aux changements climatiques sur les systèmes de ressources en eau (Nodelcorp Consulting, 2014). Cela est particulièrement vrai pour les organisations dont les capacités financières et techniques sont limitées (Lemieux et coll., 2014; Plummer et coll., 2012).

4.6.2 Les systèmes d'information sur l'eau

Une surveillance efficace est un élément clé d'une adaptation réussie (Hall et coll., 2014). Les praticiens de l'eau ont besoin d'avoir accès à des données de haute qualité et pertinentes à l'échelle locale, car de nombreuses décisions fondamentales relatives à l'eau sont justement prises à l'échelle locale (Global Water Futures, 2020) et de bons renseignements sont nécessaires pour évaluer les vulnérabilités aux risques liés aux changements climatiques (Réseau canadien de l'eau, 2019). Malheureusement, la collecte de données de haute qualité, systématique et régularisée n'est pas la norme dans de nombreuses régions du Canada (Nodelcorp Consulting, 2014) et les données sur les impacts des changements climatiques ne sont pas toujours disponibles ou reliées aux processus décisionnels (Réseau canadien de l'eau, 2019). Les ensembles

de données essentiels pour les praticiens de l'eau sont administrés par divers ministères fédéraux, tandis que les organismes provinciaux et territoriaux fournissent des renseignements comme l'épaisseur de la neige, le débit des cours d'eau et le niveau des lacs (voir le tableau 4.2). Des organisations non gouvernementales, telles que le Pacific Climate Impacts Consortium en Colombie-Britannique, le Prairie Climate Centre, l'Ontario Climate Consortium et Ouranos, fournissent des ressources supplémentaires, notamment des scénarios sur les changements climatiques et l'hydrologie. Cependant, la capacité à fournir ces renseignements est inégale selon les organisations et les gouvernements, et les données varient considérablement sur les plans de la qualité ainsi que de résolution temporelle et spatiale (Koshida et coll., 2015; Dunn et Bakker, 2011).

Tableau 4.2 : Une collection d'ensembles de données, de ressources et d'outils nationaux et régionaux sur l'eau et les changements climatiques

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement du Canada	La Série GéoBase du Réseau hydro national fournit des données géospatiales et des attributs géométriques des eaux de surface intérieures du Canada.	Shapefiles	Pancanadienne	< https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/a4b190fe-e090-4e6d-881e-b87956c07977 >
	Les Archives canadiennes des données sur les marées et niveaux d'eau contiennent des observations historiques provenant de sites de surveillance canadiens et internationaux.	Ensembles de données	Pancanadienne (observations s'échelonnant sur des périodes allant jusqu'à 50 ans, remontant à 1848)	< https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/87b08750-4180-4d31-9414-a9470eba9b42 >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement du Canada (continué)	Le Service météorologique du Canada, 50 Simulation rétrospective des vagues pour l'Atlantique Nord fournit toutes les heures des données sur les séries chronologiques de vent et de vagues à partir de modèles climatiques rétrospectifs.	Ensembles de données	Côte Est du Canada pour la période de 1954 à 2018	< https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/f3f0312d-d28b-400c-b14a-28f51ff7f08a >
Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)	Le site Web Guetter la sécheresse fournit des renseignements sur les conditions de sécheresse, l'humidité des sols et d'autres variables climatiques.	Ensembles de données et outils de cartographie en ligne	Pancanadienne	< https://www.agr.gc.ca/eng/agriculture-and-the-environment/drought-watch/?id=1461263317515 >
	Le Projet des bassins hydrographiques d'AAC (2013) fournit des ensembles de données relatifs aux bassins hydrographiques pour les provinces des Prairies. Les données comprennent des renseignements sur le drainage, la zone de drainage, les stations hydrométriques, etc.	Ensembles de données	Alberta, Saskatchewan, Manitoba et certaines parties de la Colombie britannique, des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut et de l'Ontario.	< https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/c20d97e7-60d8-4df8-8611-4d499a796493 >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Centre canadien des services climatiques	Le Centre canadien des services climatiques offre un accès à divers ensembles de données climatiques.	Ensembles de données et outils de cartographie en ligne	Pancanadienne	< https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/canadian-centre-climate-services/display-download.html >
Environnement et Changement climatique Canada	Les Relevés hydrologiques du Canada présentent des données hydrométriques historiques et en temps réel recueillies dans des stations réparties dans l'ensemble du Canada.	Ensembles de données et outils de création de graphiques en ligne	Pancanadienne	< https://eau.ec.gc.ca/index_f.html >
Ressources naturelles Canada	La Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques fournit des liens vers diverses ressources pour soutenir la planification de l'adaptation.	Forum collaboratif avec des ressources accessibles aux décideurs	Pancanadienne	< https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/plateforme-canadienne-dadaptation-changements-climatiques/10028 >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Ressources naturelles Canada (continué)	Les Guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des zones inondables guident les activités de cartographie des inondations dans l'ensemble du pays. (Fait partie de la Plateforme du Canada pour la réduction des risques de catastrophe)	Documents	Pancanadienne	https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/index-fr.php
Pêches et Océans Canada	L'Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes soutient l'adaptation des infrastructures côtières face aux extrêmes liés à l'eau.	Application en ligne	Le littoral du Canada	https://www.bio.gc.ca/science/data-donnees/can-ewlat/index-fr.php
Sécurité publique Canada	La Base de données canadienne sur les catastrophes fournit des renseignements sur les catastrophes canadiennes et internationales depuis 1900.	Ensembles de données	Pancanadienne (de 1900 jusqu'à présent)	https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/cndn-dsstr-dtbs/index-fr.aspx

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Global Institute for Water Security	Le réseau sur les régions froides en changement offre un accès en ligne aux données relatives à l'eau et aux résultats issus de modèles et d'observatoires.	Ensembles de données	Pancanadienne	http://www.ccrnetwork.ca/
The Gordon Foundation	DataStream est une plateforme de données en ligne à accès libre permettant d'échanger des données entre divers programmes de collecte de données, allant des associations communautaires aux organisations universitaires. Des flux de données existent pour les bassins versants du fleuve Mackenzie, du lac Winnipeg et des bassins versants du Canada atlantique.	Ensembles de données	Les bassins versants du fleuve Mackenzie, du Lac Winnipeg et du Canada atlantique	https://gordonfoundation.ca/initiatives/datastream/
Gouvernement du Yukon	Le Water Data Catalogue est une carte interactive de données sur des variables en temps quasi réel et historiques relatives à l'eau.	Carte interactive avec des sources de données accessibles	Yukon	http://yukon.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=2365a4c0b8744f34be7f1451a38493d2

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement du Nunavut	L'Office des eaux du Nunavut fournit des données sur les permis d'utilisation des eaux et les projets dans l'ensemble du territoire.	Carte interactive et données	Nunavut	< https://www.nwb-oen.ca/fr/nwb-license-map >
Gouvernement de la Colombie-Britannique	Le BC Water Resources Atlas présente diverses données détaillées sur l'eau.	Ensemble de données et outil de cartographie en ligne	Colombie-Britannique	< http://maps.gov.bc.ca/ess/hm/wrbc/ >
	Le changement dans la date et le volume du débit des rivières en Colombie-Britannique est un ensemble de données hydrologiques à long terme de 1912 à 2012.	Ensembles de données, graphiques et code associé en langage R	Colombie-Britannique	< http://www.env.gov.bc.ca/soe/indicators/climate-change/rivers.html >
	Le GeoWeb Water Portal affiche des données historiques et actuelles sur l'eau et le climat pour les stations sur l'ensemble de la province.	Carte interactive et ensembles de données téléchargeables	Nord de la Colombie-Britannique	< http://waterportal.geoweb.bcogc.ca/#12/54.3891/-126.7240 >
	Le BC Water Tool affiche des rapports sur les bassins versants, des données sur les écoulements fluviaux et des données sur la qualité des eaux souterraines et de surface.	Carte interactive en ligne et ensembles de données téléchargeables	Colombie-Britannique méridionale et côtière	< http://kwt.bcwatertool.ca/streamflow >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement de la Colombie-Britannique (continué)	Le réseau provincial de puits d'observation des eaux souterraines affiche les données de 190 stations de surveillance provinciales.	Carte interactive en ligne et ensemble de données téléchargeable	Colombie-Britannique	https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/groundwater-wells-aquifers/groundwater-observation-well-network
	Des données sur l'eau en temps réel pour la neige, les eaux souterraines et les stations hydrométriques sont affichées sur une carte interactive.	Carte interactive et ensembles de données téléchargeables	Colombie-Britannique	https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-science-data/water-data-tools/real-time-water-data-reporting
	La page Variation du niveau de la mer en Colombie-Britannique (1910–2014) présente un résumé des tendances des observations du niveau de la mer provenant de quatre stations de surveillance à long terme.	Ensemble de données	Colombie-Britannique	https://www.env.gov.bc.ca/soe/indicators/climate-change/sea-level.html#:~:text=Average%20sea%20level%20has%20risen,centimetres%20per%20century%20at%20Vancouver

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Pacific Climate Impacts Consortium	La page Station Hydrologic Model Output fournit des données simulées sur l'écoulement fluvial des lieux situés dans toute la Colombie-Britannique.	Carte interactive avec ensembles de données téléchargeables	Colombie-Britannique	< https://www.pacificclimate.org/data/station-hydrologic-model-output >
	La page Gridded Hydrologic Model Output fournit des projections hydrologiques maillées pour quatre bassins versants de la province.	Carte interactive avec ensembles de données téléchargeables	Colombie-Britannique (quatre bassins versants)	< https://www.pacificclimate.org/data/gridded-hydrologic-model-output >
	L'explorateur climatique du PCIC (PCEX) permet de visualiser les futures projections des conditions climatiques dans les régions du Pacifique et du Yukon à partir des données à échelle réduite du MCM CMIP5 avec une résolution de 10 km et une résolution temporelle quotidienne.	Carte interactive, graphiques et ensembles de données téléchargeables	Régions du Pacifique et du Yukon (de 1961 à 2099)	< https://pacificclimate.org/analysis-tools/pcic-climate-explorer >



ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Fraser Basin Council	Le site Web Retooling for Climate Change soutient les gouvernements locaux dans la préparation de l'adaptation aux changements climatiques.	Guides, rapports de synthèse et autres renseignements présentés à titre documentaire	Colombie-Britannique	< https://www.retooling.ca/ >
Université de la Colombie-Britannique	Future Delta 2.0 est un jeu vidéo sérieux qui permet d'explorer en temps réel des scénarios locaux de changements climatiques dans des cadres régionaux.	Jeu vidéo éducatif	Colombie-Britannique	< https://futuredelta2.ca/ >
Gouvernement de l'Alberta	Les utilisateurs des données sur la qualité des eaux de surface peuvent consulter et télécharger des variables sur la qualité de l'eau dans les lacs et les rivières dans l'ensemble de la province.	Ensembles de données et carte interactive	Alberta	< https://www.alberta.ca/surface-water-quality-data.aspx >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement de l'Alberta (continué)	L'application Alberta River Basins est une carte interactive montrant une variété de données en temps quasi réel concernant l'eau.	Carte interactive et ensembles de données téléchargeables	Alberta	https://www.gov.mb.ca/water/drought_condition/
	L'Alberta Water Licence Viewer est une application Web interactive qui permet aux utilisateurs de rechercher les permis d'utilisation de l'eau existants.	Carte interactive	Alberta	http://waterlicences.alberta.ca/
Agence de sécurité de l'eau de la Saskatchewan	La section du site Web consacrée aux lacs et aux rivières fournit des prévisions en temps quasi réel sur le débit et le niveau des cours d'eau, ainsi que des prévisions sur dix jours.	Hydrographies et données sur l'écoulement fluvial	Saskatchewan	https://www.wsask.ca/Lakes-and-Rivers/
	L'application Web Water Wells GIS fournit des renseignements sur les puits d'eau en Saskatchewan, y compris des renseignements sur la lithologie locale, les dates d'achèvement et la profondeur des puits.	Carte interactive avec ensembles de données téléchargeables	Saskatchewan	https://gis.wsask.ca/Html5Viewer/index.html?viewer=WaterWells.WellsViewer/

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement du Manitoba	Le site Web du Manitoba Drought Monitor fournit des prévisions hydrologiques, des rapports, des alertes d'inondation et de l'information sur les sécheresses.	Carte interactive et ensemble de données téléchargeables	Manitoba	https://www.gov.mb.ca/water/drought_condition/
	Le Centre de prévision des régimes fluviaux fournit des prévisions, des cartes et des renseignements hydrologiques à jour pour les lacs et les rivières.	Données et carte interactive	Manitoba	https://gov.mb.ca/mit/floodinfo/index_fr.html/
Gouvernement de l'Ontario	Les Statistiques hydrologiques de référence fournissent des données sur les régimes d'écoulement fluvial dans le sud-ouest de la baie d'Hudson et les bassins hydrographiques de la rivière Nelson. Les données comprennent la fréquence, la date, la durée et le débit aux emplacements des stations de mesure de la Division des relevés hydrologiques du Canada.	Ensembles de données	Ontario, sud-ouest de la baie d'Hudson et bassin hydrographique de la rivière Nelson	https://data.ontario.ca/fr/dataset/baseline-hydrology-statistics

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement de l'Ontario (continué)	Les cartes Far North Major River Systems fournissent des renseignements sur la surveillance des cours d'eau et du climat.	Carte interactive et ensemble de données téléchargeables	Ontario	https://geohub.lio.gov.on.ca/datasets/major-river-systems-in-the-far-north
	La Carte du Réseau provincial de contrôle de la qualité de l'eau disponible en ligne fournit des données sur la chimie de l'eau provenant de sites d'échantillonnage.	Carte interactive et ensembles de données téléchargeables	Ontario	https://www.ontario.ca/fr/environnement-et-energie/carte-du-reseau-provincial-de-contrôle-de-la-qualite-de-leau
	La Recherche de courbes intensité-durée-fréquence est une application Web permettant de récupérer les courbes IDF des chutes de pluie.	Ensembles de données et création de graphiques en ligne	Ontario	http://www.mto.gov.on.ca/IDF_Curves/terms.shtml
Ontario Climate Consortium (OCC)	Le site Web de l'OCC fournit aux décideurs des données climatiques de haute qualité et propres à chaque région.	Rapports et autres publications	Ontario	https://climateconnections.ca/programs/

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Institut international du développement durable (IISD)	La région des lacs expérimentaux de l'IISD fournit des ensembles de données à long terme sur les écosystèmes et l'atmosphère qui sont disponibles sur demande. Les métadonnées comprennent des données de recherche sur l'hydrologie, la limnologie physique, le zooplancton, les poissons, l'écologie des algues, la chimie et la météorologie.	Métadonnées	Le nord-ouest de l'Ontario (58 petits lacs et leurs bassins versants) (de 1968 à aujourd'hui)	https://www.iisd.org/ela/science-data/our-data/metadata/
Gouvernement du Québec	Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques fournit des prévisions hydrologiques et hydroclimatologiques ainsi que des données historiques.	Ensembles de données	Québec	https://www.cehq.gouv.qc.ca/prevision/index.asp
	L'Atlas hydroclimatique du Québec méridional décrit le régime hydrique actuel et futur du sud du Québec.	Carte interactive et ensemble de données	Québec	https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/index.htm

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement du Nouveau-Brunswick	L'outil de Surveillance des cours d'eau et de prévision des inondations fournit des prévisions de cinq jours sur les inondations et de l'information sur les niveaux d'eau historiques.	Ensembles de données	Nouveau-Brunswick	< https://www2.gnb.ca/content/gnb/fr/nouvelles/alerte/SurveillanceDesCoursDEau.html >
	Les Données d'érosion côtière affichent les tendances de l'érosion côtière et du déplacement du littoral en fonction de sites de mesure déterminés.	Ensembles de données	Nouveau-Brunswick	< http://www.snb.ca/geonb1/f/apps/apps-F.asp >
Gouvernement de la Nouvelle-Écosse	La base de données sur les événements d'inondation contient des documents historiques concernant les inondations survenues en Nouvelle-Écosse depuis 1992.	Carte interactive	Nouvelle-Écosse (de 1992 à février 2015)	< https://mathstat.dal.ca/~ameliay/flood/ >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement de la Nouvelle-Écosse (continué)	Les cartes des risques d'inondation côtière du MRN fournissent des cartes statiques des risques d'inondation le long des côtes et des systèmes de soutien aux décisions d'urgence en cas d'inondation côtière pour différentes régions de la province.	Carte interactive	Nouvelle-Écosse	< https://agrgims.cogs.nsc.ca/CoastalFlooding/lidar-mapping >
	La carte interactive quadrillée The Potential Impact of Drought to Private Wells montre les pénuries potentielles d'eau et le risque de sécheresse.	Carte interactive	Nouvelle-Écosse	< https://fletcher.novascotia.ca/DNRViewer/?viewer=DroughtIndex >
Nova Scotia Community College	La carte interactive des ondes de tempête côtières du AGRG est un système d'aide à la décision pour les risques d'inondation dus aux ondes de tempête et à l'élévation du niveau de la mer.	Carte interactive et données	Nouvelle-Écosse	< http://agrgims.cogs.nsc.ca/CoastalFlooding/Map/ >

ORGANISATION	DESCRIPTION DES RESSOURCES	TYPE DE DONNÉES	ÉCHELLE	LIEN
Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard	La base de données Surface Water Quality fournit des renseignements sur les lieux d'échantillonnage, des données téléchargeables et des représentations visuelles.	Ensembles de données et outils de représentation visuelle	Île-du-Prince-Édouard	< https://www.princeedwardisland.ca/en/service/view-surface-water-quality >
Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador	L'outil interactif Geoscience Atlas permet aux utilisateurs de sélectionner et de visualiser des couches qui comprennent des variables de surveillance côtière.	Ensembles de données et outils de cartographie	Terre-Neuve-et-Labrador	< https://gis.geosurv.gov.nl.ca/ >
Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique	L'outil d'adaptation des communautés côtières soutient la prise de décision en matière d'inondation et d'érosion côtière.	Rapports et études de cas	Canada atlantique	< https://atlanticadaptation.ca/fr/contenu/orientation-sur-ladaptation-aux-inondations-et-lerosion-cotieres >
National Snow and Ice Data Center (NSIDC) des États-Unis	L'ensemble de données sur la climatologie des glaces contient des données à long terme sur l'état des glaces dans des régions géographiques déterminées.	Ensembles de données	Arctique et Antarctique	< https://nsidc.org/data/sign/data-sets.html >

Note : cette liste n'est pas exhaustive et les URL peuvent changer au fil du temps.

Le Centre canadien des services climatiques (CCSC) a été créé par Environnement et Changement climatique Canada en 2018 pour aider à traiter cette question et renforcer la collaboration au sujet de la mise en commun de renseignements à l'échelle nationale. L'objectif du CCSC est de fournir des renseignements sur les changements climatiques faisant autorité, pertinents et à jour, ainsi que de l'aide à l'interprétation de ces renseignements. Le Centre joue un rôle indirect important dans la centralisation des ressources liées aux changements climatiques et aux ressources en eau réparties entre de nombreuses organisations. Il parachève les travaux entrepris par d'autres, tels que les Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) du Canada, qui ont produit des évaluations, des guides et des études techniques sur la vulnérabilité et ont considérablement accru la sensibilisation aux questions liées aux changements climatiques, ce qui a permis d'obtenir un certain nombre de résultats dans la lutte contre les risques sur les ressources en eau découlant des changements climatiques (Eyzaguirre, 2015).

Malgré ces efforts, il existe des lacunes importantes dans les systèmes canadiens d'information sur l'eau et celles-ci posent des défis en matière d'adaptation dans le secteur de l'eau, notamment :

- moins de stations de surveillance météorologique et hydrométrique dans les régions et les bassins versants du Nord du pays (Koshida et coll., 2015);
- disponibilité limitée des données sur les eaux souterraines, la qualité de l'eau, l'évapotranspiration, les écoulements restitués, les glaciers, les tendances futures et l'utilisation réelle de l'eau (Bakker et Cook, 2011; Corkal et coll., 2011; Sandford et coll., 2011; Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2010; Stratton, 2005; Langsdale et coll., 2004), la santé écologique (Fonds mondial pour la nature, 2017) et les infrastructures liées à l'eau (Conseil canadien des ingénieurs, 2008);
- recherches régionales inégales sur les tendances hydrologiques. Les recherches en cours se concentrent sur les régions du Nord, la Colombie-Britannique et la région des Prairies, avec moins d'études dans l'Est du Canada. Les analyses des sécheresses et les recherches sur les tendances climatologiques sont principalement centrées sur la région des Prairies (Mortsch et coll., 2015);
- compréhension limitée de la variabilité spatiale et temporelle des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau (Shrestha, et coll., 2012);
- incertitudes associées aux outils de modélisation hydrologique, aux entrées de données et aux méthodes de génération de projections (Milner et coll., 2018; Cohen et coll., 2015; Brown et Wilby, 2012; Poulin et coll., 2011);
- peu de normalisation, de centralisation et de cohérence dans la collecte de données, dans les indicateurs et dans les méthodologies pour les évaluations des risques (Moody et Brown, 2012) et les études sur la disponibilité de l'eau (Koshida et coll., 2015; Dunn et Bakker, 2011);
- incertitude des intervenants quant aux données existantes, à la manière dont elles peuvent être obtenues et intégrées dans la planification et aux responsables de la collecte et de l'assemblage des données (Réseau canadien de l'eau, 2019; Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, 2011; Telfer et Droitsch, 2011; Diaz et coll., 2009).

Ces lacunes se traduisent par une capacité inégale des systèmes d'information à mettre en place des institutions et des infrastructures résilientes et outillées pour s'adapter.

4.6.3 Les infrastructures liées à l'eau

Les infrastructures fournissent des services essentiels aux Canadiens. Par exemple, les barrages assurent le contrôle des inondations, l'approvisionnement en eau et la production hydroélectrique; les infrastructures des eaux usées éliminent les nutriments et les toxines nocives des effluents pour répondre à des normes sanitaires et environnementales; les stations de pompage acheminent l'eau aux industries, aux collectivités et aux foyers. Par ailleurs, on comprend peu à peu que les infrastructures naturelles, comme les terres humides, les forêts et les sols, produisent des résultats similaires à ceux des infrastructures construites, à un coût moindre et de manière plus efficace (Moudrak et coll., 2018), ce qui résulte en grande partie de la réduction des coûts d'entretien et de gestion du cycle de vie.

Les impacts des changements climatiques liés à l'eau constituent certains des principaux dangers pour toutes les infrastructures au Canada (Sécurité publique Canada, 2018) et peuvent se manifester par des dommages physiques, des perturbations du service et une augmentation des coûts d'entretien et d'exploitation (Boyle et coll., 2013). Les infrastructures vieillissantes sont particulièrement vulnérables aux impacts des changements climatiques (Sécurité publique Canada, 2018).

Trois évaluations donnent un aperçu général des dangers des changements climatiques liés à l'eau, des vulnérabilités des infrastructures et des mesures d'adaptation au Canada (Andrey et coll., 2014; Boyle et coll., 2013; Conseil canadien des ingénieurs, 2008). Bien que des évaluations approfondies de la vulnérabilité aient été entreprises aux échelles locale et régionale, beaucoup moins de renseignements sont disponibles aux échelles provinciale et nationale (Boyle et coll., 2013). L'insuffisance de renseignements est le principal facteur limitant une évaluation pancanadienne systématique des infrastructures liées à l'eau (Andrey et coll., 2014). Cependant, les principaux dangers et risques pour ces infrastructures sont identifiés dans les évaluations énumérées ci-dessus et sont résumés dans la figure 4.10.

Le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) est un outil essentiel pour évaluer la vulnérabilité des infrastructures des ressources en eau au Canada (voir l'encadré 4.3).

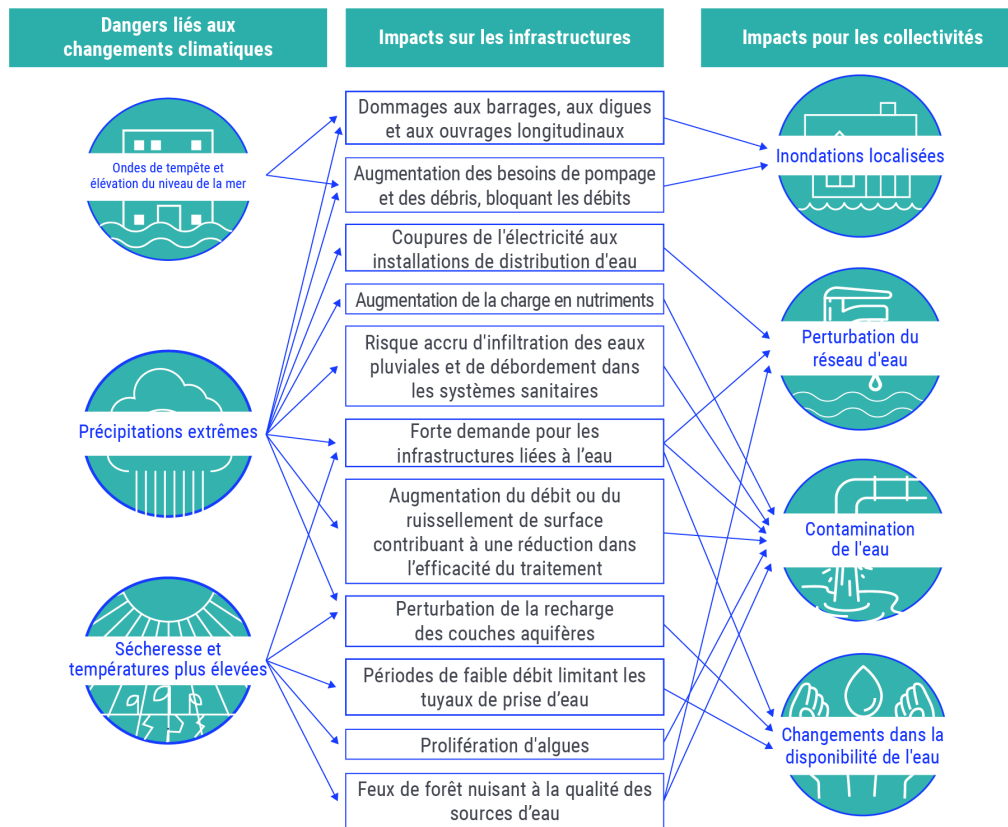


Figure 4.10 : Principaux dangers des changements climatiques et risques pour les infrastructures liées à l'eau.

Encadré 4.3 : Évaluer la vulnérabilité des infrastructures

Le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) est une procédure en cinq étapes visant à évaluer systématiquement la vulnérabilité technique et les risques liés aux impacts des changements climatiques actuels et futurs; cette procédure peut être appliquée à tout type d'infrastructure. Les cinq étapes comprennent (1) la définition du projet, (2) la collecte de données, (3) l'évaluation de la vulnérabilité (voir la figure 4.11), (4) l'analyse des indicateurs de vulnérabilité et (5) les recommandations pour renforcer la résilience.

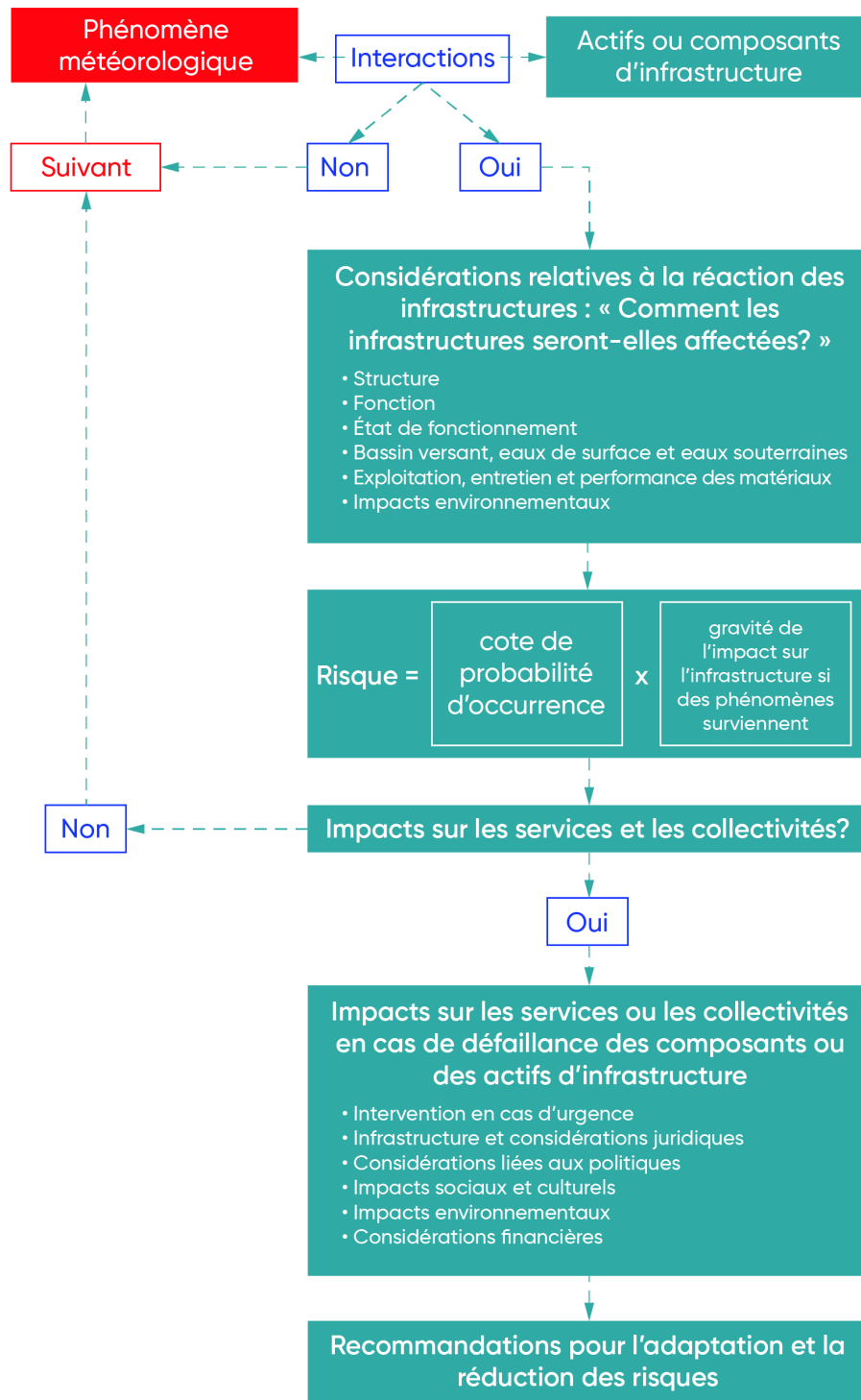


Figure 4.11 : Organigramme illustrant l'étape 3 du protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP). L'étape 3 comprend une évaluation de la vulnérabilité afin de déterminer les relations entre les changements climatiques et les impacts sur les infrastructures. Source : Adapté de Félio, 2017.

Le protocole du CVIIP a été appliqué dans des dizaines d'évaluations d'infrastructures locales liés à l'eau, ce qui a conduit à toute une série de conclusions et de recommandations. Par exemple, la Ville de Calgary a conclu que son infrastructure d'approvisionnement en eau est généralement résiliente aux impacts des changements climatiques (Associated Engineering, 2011), tandis que la Ville de Nelson a constaté que son infrastructure des eaux pluviales nécessitait des investissements supplémentaires pour atténuer les problèmes d'inondation (voir l'étude de cas 4.7; Paré, 2014). En général, les conclusions des études de cas font ressortir les pratiques exemplaires en matière de conception et d'exploitation résilientes des infrastructures liées à l'eau, notamment :

- un bon entretien et une bonne gestion : les infrastructures plus âgées ou mal entretenues et mal gérées sont plus exposées aux risques des impacts des changements climatiques;
- l'intégration de redondances dans les réseaux d'alimentation en eau (p. ex. plusieurs points d'injection et mécanismes de distribution);
- pour les nouvelles infrastructures, la prise en compte des impacts des changements climatiques lors de la conception du projet afin d'éviter des améliorations écoénergétiques ou des mises à niveau des installations difficiles et coûteuses une fois construites;
- veiller à ce que les codes, normes et instruments connexes relatifs aux infrastructures correspondent à des renseignements fiables et à jour ou tiennent compte des projections en matière de changements climatiques.

Ces évaluations attirent également l'attention sur trois vulnérabilités majeures des systèmes d'infrastructures liées à l'eau existants. Premièrement, ces systèmes supposent généralement que les conditions du passé s'appliqueront au futur, avec des règles de conception et d'exploitation basées sur des enregistrements empiriques tirés du passé plutôt que sur des conditions futures anticipées (Sauchyn et coll., 2016; Mguni, 2015; Boyle et coll., 2013; Hamlet, 2011; de Loë et Plummer, 2010; Minville et coll., 2010). Comme il n'est pas toujours évident de savoir avec quelles données climatiques ont été élaborés les codes, les normes ou les instruments connexes, l'élaboration des futures normes ne se résume pas toujours à la mise à jour des données climatiques passées (Andrey et coll., 2014). Deuxièmement, il existe une tendance à ne pas tenir compte des extrêmes climatiques à faible probabilité qui ont des impacts particulièrement néfastes (Sauchyn et coll., 2016). Les études de cas soulignent l'importance d'une planification et d'une préparation robustes aux situations d'urgence, ainsi que de systèmes d'alimentation électrique et de communications de secours, pour soutenir la conception et l'entretien des infrastructures (Félio, 2015; Nodelcorp Consulting, 2014). Troisièmement, les coûts liés à l'entretien des infrastructures, aux redondances, aux mises à niveau et aux règlements de plus en plus sévères sont considérables (de Loë et Plummer, 2010). Les plus récents bulletins de rendement des infrastructures canadiennes (2019, 2016) indiquent que si la majorité des réseaux d'eau potable, d'eaux usées et d'eaux pluviales sont jugés « bons », les taux de réinvestissement dans ces réseaux restent inférieurs aux taux requis pour les entretenir ou les améliorer (Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, 2019, 2016).

Les exigences entourant la conception, la construction et l'exploitation évoluent pour pallier ces vulnérabilités. Par exemple, Infrastructure Canada a introduit une exigence d'évaluation sur « l'optique des changements climatiques » pour plusieurs de ses initiatives de financement en 2018. L'évaluation exige que les promoteurs envisagent des approches de gestion des risques pour s'adapter aux impacts liés aux changements

climatiques pendant le cycle de vie de l'infrastructure proposée et aux impacts potentiels en amont et en aval (p. ex. la réduction des inondations en aval grâce à l'aménagement de terres humides artificielles) (Infrastructure Canada, 2018).

Étude de cas 4.7 : Les impacts des changements climatiques sur les infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées à Akwesasne

En 2015, Ingénieurs Canada a entamé des discussions avec l'Ontario First Nations Technical Services Corporation sur les impacts des changements climatiques sur les infrastructures dans les collectivités autochtones. L'intention était d'intégrer les considérations climatiques dans la planification de la gestion des biens des Premières Nations.

Le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) d'Ingénieurs Canada a été considéré comme la meilleure approche pour évaluer les risques climatiques pour les infrastructures, et les travaux ont fait leur progrès dans le territoire mohawk d'Akwesasne. Akwesasne est une collectivité d'environ 12 300 personnes réparties dans trois districts : Kawehno:ke (île de Cornwall, en Ontario), Kana:takon (Saint-Régis, au Québec) et Tsi:Snaihne (Snye, au Québec). Le territoire d'Akwesasne s'étend sur des parties de l'Ontario, du Québec et de New York et est gouverné par le Conseil des Mohawks d'Akwesasne et la Saint Regis Mohawk Tribe.

La première phase de l'étude (Félio, 2017) a fait appel au protocole du CVIIP pour évaluer la vulnérabilité aux impacts des changements climatiques dans les systèmes de collecte et de traitement de l'eau potable et des eaux usées de l'île de Cornwall, de Saint-Régis et de Snye. Les risques ont été classés en fonction de la probabilité et de la gravité des événements, mais comprenaient des cas particuliers tels que les événements à faible probabilité et fort impact. L'équipe a analysé les interactions entre le climat et les infrastructures qui auraient un impact sur la conception, la fonctionnalité, la capacité à fournir des services et les répercussions sur la collectivité, telles que les effets sociaux et culturels et les interventions d'urgence.

Les risques évalués différaient selon les lieux et les systèmes évalués, mais comprenaient principalement les impacts des changements climatiques liés à l'eau, à savoir les tempêtes de verglas, la grêle, les chutes de neige et les pluies ainsi que les tornades et les vents violents. Parmi ceux-ci, les interactions entre les dangers et les infrastructures considérées comme présentant des risques « élevés » et « extrêmes » sont appelées à augmenter au cours des années à venir (d'ici les années 2050).

L'étude a révélé que les infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées d'Akwesasne semblent être en bon état et être capables de résister à un certain accroissement de la fréquence et de l'intensité des phénomènes climatiques prévus, avec la mise en garde que la détérioration des infrastructures augmentera les risques (Félio, 2017). Les mesures d'adaptation et de réduction des risques recommandées comprennent le maintien d'un niveau élevé de personnel des opérations, de compétences et de conditions infrastructurelles, la révision des politiques d'affectation des terres pour éviter

de construire dans les zones à haut risque au sein de la collectivité et la planification d'urgence, comme la mise en place d'un système d'alerte météorologique conjoint à un effort de sensibilisation publique (Félio, 2017).

La deuxième phase de cette étude a conduit à l'élaboration d'un protocole du CVIIP adapté aux collectivités des Premières Nations. Cette version du protocole fournit des conseils sur la façon d'intégrer les connaissances écologiques traditionnelles : elle est adaptée aux circonstances uniques qui ont un impact sur les collectivités autochtones (p. ex. des collectivités plus petites, des régions éloignées, etc.) (Ingénieurs Canada, 2018).

Le potentiel des solutions basées sur la nature ou des « infrastructures naturelles » pour réduire les impacts des changements climatiques liés à l'eau est également davantage reconnu (Stanley et coll., 2019; Moudrak et coll., 2018). L'infrastructure naturelle est définie comme « un réseau stratégiquement planifié et géré de terres naturelles, telles que des forêts et des terres humides, des paysages fonctionnels et d'autres espaces ouverts qui conservent ou améliorent les valeurs et les fonctions des écosystèmes et qui procurent des avantages connexes aux populations humaines » (Benedict et McMahon, 2006, p.). Cette infrastructure peut être entièrement naturelle (p. ex. une terre humide naturelle protégée) ou artificielle (p. ex. une terre humide restaurée munie d'une décharge artificielle) et peut être complémentaire à une infrastructure bâtie existante (Moudrak et coll., 2018). En matière de gestion des ressources en eau, les infrastructures naturelles ont tendance à être plus souples que les infrastructures bâties et présentent d'importants avantages connexes, tels que la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité de l'eau et de la santé des écosystèmes (voir le chapitre « [Services écosystémiques](#) »; Goldstein et coll., 2019; Stanley et coll., 2019; Moudrak et coll., 2018). La mise en œuvre généralisée des solutions d'infrastructures naturelles a été entravée par un manque de connaissances et d'expertise ainsi que par des processus politiques et réglementaires favorisant les infrastructures bâties (ICF, 2018). Néanmoins, un certain nombre d'exemples récents dans l'ensemble du Canada se sont révélés être des modèles de réussite en matière d'infrastructures naturelles pour atténuer les impacts des changements climatiques liés à l'eau (voir l'encadré 4.4).

Encadré 4.4 : Les options en matière d'infrastructures naturelles pour l'adaptation

La préservation des plaines inondables, la restauration des terres humides, les reculs contre les inondations, les canaux à deux étages (pour les débits élevés et faibles), les canaux évacuateurs (pour les débits élevés) et l'ajout de structures dans les cours d'eau et de végétation sur les berges sont autant de stratégies d'infrastructures naturelles qui réduisent les risques d'inondation fluviale (ICF, 2018). Ces solutions sont des méthodes efficaces pour renforcer la capacité des réseaux d'alimentation en eau à absorber les impacts des excédents d'eau. Par exemple, une étude a démontré que les terres humides naturellement présentes en Ontario ont permis de réduire les coûts des dommages causés aux bâtiments par les inondations de 3,5 millions de dollars pour un site rural et de 51,1 millions de dollars pour un site urbain, tandis qu'une autre étude a révélé qu'une terre humide restaurée et aménagée au Manitoba a permis de réduire les inondations,

d'améliorer la qualité de l'eau et d'obtenir d'autres avantages évalués à 3,7 millions de dollars (Moudrak et coll., 2018). Dans les centres urbains, le ruissellement de l'eau de pluie peut contribuer aux inondations urbaines et augmenter les charges de contaminants dans les eaux réceptrices. Les solutions d'infrastructures naturelles telles que les toits verts, les rigoles de drainage biologiques (surfaces inclinées et végétalisées), les bassins de biorétention, les jardins pluviaux, les arbres urbains et les rigoles de drainage végétales réduisent efficacement les risques liés au ruissellement pluvial sur de nombreux sites dans l'ensemble du Canada (voir le chapitre « [Villes et milieux urbains](#) »; ICF, 2018). Par exemple, le programme de toit vert de Toronto contribue à une réduction des eaux pluviales, estimée à un peu plus de 12 000 m³ (435 000 pi³) par an, en plus d'avoir permis la création de plus de 100 emplois liés à la conception, à la fabrication, à l'installation et à l'entretien de l'infrastructure (ICF, 2018). De manière semblable, des étangs naturels à Gibsons, en Colombie-Britannique, fournissent des services de stockage des eaux pluviales d'environ 4 millions de dollars par an (Moudrak et coll., 2018).

Le processus d'évaluation de la vulnérabilité a aidé les gestionnaires des ressources en eau dans l'ensemble du Canada à envisager comment les changements climatiques interagissent avec les systèmes en place et exacerbent les risques existants ou en produisent de nouveaux. Ce processus, à son tour, aide à trouver les mesures d'adaptation et, en fin de compte, à orienter la planification et l'allocation des ressources dans un contexte incertain.

4.7 Aller de l'avant

4.7.1 Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche

Ce chapitre met en évidence certaines lacunes en matière de connaissances importantes et de mise en commun de renseignements qui constituent des défis pour les efforts de gestion adaptative des ressources en eau au Canada. Ces défis portent notamment sur ce qui suit :

- **L'accès aux données** : Bien qu'il existe une abondance de données et de recherches sur l'eau et le climat produites activement, à de nombreuses échelles et en de nombreux endroits dans l'ensemble du Canada, il existe des variations considérables entre ces données, avec peu de centralisation ni de normalisation (Dunn et Bakker, 2011). La question de savoir quelles données existent et comment elles peuvent être consultées, interprétées ou appliquées est donc empreinte d'incertitude (Telfer et Droitsch, 2011; Diaz et coll., 2009).

- **La définition d'orientations pour la prise de décisions** : Il existe un besoin crucial de traduire les connaissances scientifiques et techniques en orientations pratiques pour les décideurs, les gestionnaires, les praticiens et les intervenants. Cela comprend des conseils pour la prise en compte des changements climatiques dans la conception en ingénierie, les codes et les normes pour les infrastructures bâties et naturelles ainsi que dans les mandats politiques et institutionnels (Commission mixte internationale, 2018; de Loë, 2017; Andrey et coll., 2014; Nodelcorp Consulting, 2014; Conseil canadien des ingénieurs, 2008).
- **La mobilisation pour une compréhension commune** : La mobilisation des intervenants est essentielle pour faire progresser l'adaptation dans le secteur canadien de l'eau. L'élaboration de stratégies visant à établir des consensus ou des compromis autour de solutions entre les besoins et les objectifs contradictoires des groupes intervenant dans le secteur de l'eau est un domaine de pratique et d'étude émergent dans le secteur canadien de l'eau. Il est nécessaire de disposer de méthodes pratiques et efficaces pour aider les décideurs à s'orienter dans les interactions entre les intervenants, à négocier les conflits, à tenir compte de l'évolution des dynamiques sociales et à concilier les compromis entre les utilisations concurrentes de l'eau (Global Water Futures, 2020; Clark et coll., 2016; Hurlbert et Diaz, 2013; Hamlet, 2011; Ivey et coll., 2004).
- **La mobilisation des connaissances entre les producteurs et les utilisateurs du savoir** : Une mobilisation efficace des connaissances est nécessaire pour combler le fossé entre les organisations du secteur de l'eau et les connaissances générées par la communauté des chercheurs, mais également celles détenues par les praticiens et les intervenants du secteur de l'eau dans l'ensemble du Canada. La mobilisation des connaissances est un échange et une assimilation réciproques des connaissances entre les organisations et les personnes qui se consacrent à rendre la recherche utile à la société (Réseau Impact Recherche Canada, 2018). Les facteurs sociaux jouent un rôle important dans l'assimilation des nouvelles connaissances, et il est important de développer des relations solides, de confiance et significatives entre les chercheurs et les communautés d'utilisateurs des connaissances (Crona et Parker, 2011).

La prise en compte des besoins de recherche supplémentaires et des lacunes en matière de connaissances ci-dessous permettrait de mieux comprendre l'efficacité des efforts d'adaptation et de faire progresser les processus de gestion adaptative :

- **La surveillance et la collecte de données** : Les capacités de surveillance sont limitées, en particulier dans les régions nordiques, et il est nécessaire de disposer de données d'observation supplémentaires sur les eaux souterraines, la qualité de l'eau, l'évapotranspiration, les écoulements restitués, les glaciers et l'utilisation réelle de l'eau (Koshida et coll., 2015; Bakker et Cook, 2011; Corkal et coll., 2011; Sandford et coll., 2011; Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2010; Stratton, 2005; Langsdale et coll., 2004).
- **La modélisation et les prévisions** : Des études comparatives détaillées des modèles permettraient de mieux comprendre les failles de certains modèles et des analyses multi-modèles (Milner et coll., 2018; Cohen et coll., 2015; Brown et Wilby, 2012; Poulin et coll., 2011). De telles études permettraient de déployer à l'échelle nationale des modèles de prévision hydrologique et de qualité de l'eau de classe mondiale pour les prévisions à court et à long terme des

changements dans la disponibilité et la qualité de l'eau. Des méthodes pratiques pour clarifier, réduire ou prioriser les principaux domaines d'incertitude dans les modèles doivent être élaborées en collaboration avec la communauté des praticiens et mobilisées efficacement dans le secteur canadien de l'eau (Clark et coll., 2016; Razavi et Gupta, 2016; Brown et Wilby, 2012).

- **La compréhension des obstacles institutionnels** : Les obstacles institutionnels à l'adaptation sont trop peu étudiés et pas toujours bien compris, bien qu'ils soient reconnus comme un véritable problème par les praticiens de l'eau au Canada (Global Water Futures, 2020; Straith et coll., 2014). Il existe un besoin continu de regarder au-delà de la science et de la technologie en matière de changements climatiques afin de susciter des transformations de la gouvernance qui amélioreront la résilience climatique des réseaux d'alimentation en eau canadiens (Gober, 2013; de Loë et Plummer, 2010). Malgré le fait que l'importance de la gouvernance adaptative soit largement reconnue, les indicateurs de la résilience institutionnelle sont rarement reflétés dans les outils portant sur la vulnérabilité et une compréhension limitée quant à la manière de retenir et de mesurer ces concepts de manière adéquate est constatée (Plummer et coll., 2012).
- **La documentation des succès et des échecs** : L'évaluation des processus de gestion adaptative est essentielle. Toutefois, il manque souvent de documentation rigoureuse sur ce sujet dans la littérature spécialisée. L'évaluation est nécessaire aux échelles locale, régionale et nationale, y compris le suivi des résultats à court et à long terme des mesures d'adaptation. Bien que souvent évités, le recensement et la communication des échecs sont parfois plus utiles pour éclairer les efforts d'adaptation et l'apprentissage social.

4.8 Conclusion

L'eau est au cœur de la croissance économique, de la santé environnementale et de la stabilité sociale au Canada. Ce chapitre a montré que les réseaux d'alimentation en eau sont en transformation rapide en raison des changements climatiques et de l'action humaine. Les changements climatiques mondiaux ont déjà affecté le cycle de l'eau au Canada, dominé par le froid, en provoquant la fonte de la glace et de la neige, en perturbant la phase des précipitations et en modifiant la nature et la date des dangers naturels liés à l'eau. Les changements à venir sont incertains, mais ils comprennent les risques suivants : une réduction de la disponibilité de l'eau et une augmentation de la fréquence des sécheresses, en particulier dans le sud des Prairies et à l'intérieur de la Colombie-Britannique, des précipitations extrêmes contribuant aux inondations et des épisodes plus nombreux de prolifération d'algues nuisibles.

Il y a beaucoup à faire pour préparer le Canada à un avenir incertain concernant ses ressources en eau. L'incertitude n'est pas une invitation à l'inaction, mais elle change en revanche la manière dont nous devons nous préparer. Les institutions canadiennes de l'eau ont été historiquement organisées pour faire face à des conditions futures prévisibles dans la perspective où il nous serait possible d'extrapoler un avenir sur la base du passé. L'incertitude climatique a changé la donne. Les organisations de l'eau commencent à adopter la

modélisation exploratoire, les exercices de scénario et la gestion adaptative comme moyen de planification en contexte d'incertitude et d'ajustement des plans pour répondre aux changements des circonstances.

La responsabilité de l'adaptation dans le secteur des ressources en eau est également répartie entre un ensemble complexe de gouvernements et d'organisations impliqués dans des activités d'intendance de l'eau. Une coordination efficace entre ces groupes joue un rôle important dans le renforcement de l'adaptation dans le secteur des ressources en eau et est illustrée par les organisations transfrontalières de gestion des eaux au Canada. Les études de cas ont aussi mis en lumière le fait que l'adaptation est un processus local adapté au milieu. Alors que l'accès aux compétences techniques, aux ressources et aux connaissances contextuelles et adaptées au milieu est un atout pour l'adaptation, les défis en matière de capacités sont souvent concentrés dans les collectivités rurales, nordiques et autochtones. Ces collectivités sont souvent les plus vulnérables aux risques liés à l'eau dans le contexte des changements climatiques et assument une part disproportionnée des coûts de l'adaptation.

Les Canadiens subissent les impacts des changements climatiques dans leurs propres collectivités et ces impacts varient considérablement d'une région à l'autre du pays. Les praticiens de l'eau profitent d'un accès à des données climatiques de haute qualité et localement pertinentes afin de réduire les vulnérabilités des systèmes et des infrastructures, et les Canadiens sont plus susceptibles de soutenir les efforts d'adaptation lorsqu'ils comprennent les avantages connexes et disposent de renseignements qui leur permettent d'agir de manière décisive. Il est peu probable que des stratégies d'adaptation nationales uniformes ou uniques puissent permettre de relever le défi des changements climatiques ou de répondre aux valeurs des Canadiens de l'ensemble des régions.

Pourtant, les efforts d'adaptation sont à la traîne par rapport à ce qui sera nécessaire pour relever les défis posés par les changements climatiques. Ce sont pour la plupart des expériences ponctuelles locales plutôt que des processus institutionnalisés de gestion environnementale et de changement sociétal. Les risques liés à l'eau n'ont pas encore atteint le niveau d'urgence critique dans l'esprit des Canadiens et des Canadiennes pour déclencher le soutien en faveur de mesures généralisées et immédiates.

4.9 Références

- Abbott, G. et Chapman, M. (2018). « Addressing the New Normal 21st Century Disaster Management in British Columbia ». Rapport au gouvernement de la Colombie-Britannique. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/safety/emergency-preparedness-response-recovery/emergency-management-bc/reports>>
- Abu, R., Reed, M.G. et Jardine, T.D. (2019). « Using two-eyed seeing to bridge Western science and Indigenous knowledge systems and understand long-term change in the Saskatchewan River Delta, Canada ». *International Journal of Water Resources Development*, 1–20. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07900627.2018.1558050>>
- Akamani, K. et Wilson, P.I. (2011). « Toward the adaptive governance of transboundary water resources ». *Conservation Letters*, 4, 409–416. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2011.00188.x>>
- Akerlof, K., DeBono, R., Berry, P., Leiserowitz, A., Rose-Renouf, C., Clarke, K.-L., Rogaeva, A., Nisbet, M.C., Weathers, M.R. et Maibach, E.W. (2010). « Public perceptions of climate change as a human health risk: Surveys of the United States, Canada and Malta ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, 2559–2606. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/ijerph7062559>>
- Alberta Water Council (2017). « Looking Back: Evaluating Sector Improvements in Water Conservation, Efficiency and Productivity ». Edmonton, Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.awchome.ca/projectdocs/?file=d86483b3094da16b>>
- Alberta WaterSMART (2013). « Water Reuse in Alberta: Experiences and impacts on economic growth ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://watersmartsolutions.ca/wp-content/uploads/2018/08/Water-Reuse-in-Alberta-2013-Sust-Reg-Dev.pdf#:~:text=Water%20Reuse%20in%20Alberta%3A%20Experiences%20and%20Impacts%20on,treatment%20technologies%20have%20advanced%20significantly%20over%20the%20last>>
- Alberta WaterSMART (2016). « Climate Vulnerability and Sustainable Water Management in the South Saskatchewan River Basin: Final Report ». 129 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://albertawater.com/docs-work/projects-and-research/ssrb/178-ssrb-water-project-final-report-adaptation-roadmap-for-sustainable-water-management-in-the-ssrb-january-2016/file>>
- AMEC Environment & Infrastructure (2012). « Flood Risk and Vulnerability Analysis Project. Report submitted to Atlantic Climate Adaptation Solutions Association ». Department of Environment and Conservation, Newfoundland and Labrador. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A446>>
- Andrey, J., Kertland, P. et Warren, F.J. (2014). Infrastructure hydraulique et infrastructure de transport, Chapitre 8, dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 233–252. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf>
- Aquije, D.D. (2016). « Paying for Stormwater Management: What are the Options? Report by The Institute on Municipal Finance and Governance ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://munkschool.utoronto.ca/imfg/uploads/342/imfg_perspectives_no12_stormwater_daniella_davilaaquije_apr26_2016.pdf>
- Archer, L., Ford, J.D., Pearce, T., Kowal, S., Gough, W.A. et Allurut, M. (2017). « Longitudinal assessment of climate vulnerability: a case study from the Canadian Arctic ». *Sustainability Science*, 12, 15–29. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11625-016-0401-5>>
- Armitage, D., Berkes, F., Dale, A., Kocho-Schellenberg, E. et Patton, E. (2011). « Co-management and the co-production of knowledge: Learning to adapt in Canada's Arctic ». *Global Environmental Change*, 21(3), 995–1004. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.006>>
- Associated Engineering (C.-B.) Ltd. (2018). « Final Report: Improving Coastal Flood Adaptation Approaches ». Préparé pour la Ville de Surrey, 351 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.surrey.ca/files/CFAS-ICFAA-FinalReport-29032018.pdf>>
- Associated Engineering (2011). « City of Calgary Water Supply Infrastructure: Climate Change and Vulnerability Risk Assessment ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/city_of_calgary_water_supply_infrastructure_report_web.pdf>
- Association canadienne des barrages (2019). Barrages au Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.cda.ca/FR/Barrages_au_Canada/FR/Barrages_au_Canada.aspx?hkey=a8a17bd2-1d75-49c0-90b1-1849e2f73897>
- Association canadienne des eaux potables et usées (2015). « Public Attitudes Project: Changing Public Attitudes on the Value of Canada's Water System Infrastructure ». 28 p.
- Bakaic, M., Medeiros, A.S., Peters, J.F., et Wolfe, B.B. (2017). « Hydrologic monitoring tools for freshwater municipal planning in the Arctic: the case of Iqaluit, Nunavut, Canada ». *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 32913–32925. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11356-017-9343-4>>

- Bakker, K. et Cook, C. (2011). « Water governance in Canada: Innovation and fragmentation ». *International Journal of Water Resources Development*, 27, 275–289. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07900627.2011.564969>>
- Banque Royale du Canada (2017). « Canadian Water Attitudes Study ». Blue Water Project, 92 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://www.rbc.com/community-sustainability/_assets-custom/pdf/CWAS-2017-report.pdf>
- Bauer, A. et Steurer, R. (2014). « Multi-level governance of climate change adaptation through regional partnerships in Canada and England ». *Geoforum*, 51, 121–129. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.006>>
- Benedict, M. et McMahon, E. (2006). « Green infrastructure: Linking landscapes and communities. » 2^e édition. Washington, DC: Island Press.
- Berkes, F. et Armitage, D. (2010). Institutions de co-gestion, connaissance et apprentissage. L'adaptation au changement dans l'Arctique. « *Les Inuit et le changement climatique* », 34(1), 109–131. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.7202/045407ar>>
- BGC Engineering Inc. (2011). « Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee Assessment for NWT Highway 3 ». Préparé pour le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, ministère des Transports, 212 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/2gnwt_hwy_3_west_yellowknife_report_web.pdf>
- Bizikova, L. et Vodicka, A. (2013). « Adaptive Policy Analysis of Nova Scotia: Selected policies and programs of Nova Scotia Environment ». Rapport de l'IIDD présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique, Ressources naturelles Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/adaptool_nova_scotia.pdf>
- Bizikova, L., Swanson, D., Tyler, S., Roy, D. et Venema, H.D. (2018). « Policy adaptability in practice ». *Policy Design and Practice*, 1, 47–62. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/25741292.2018.1436376>>
- Bizikova, L., Tyler, S., Roy, D. et Swanson, D. (2013). « Strengthening Adaptive Capacity in Four Canadian Provinces: ADAPTool analysis of selected sectoral policies. A synthesis report ». Rapport de l'IIDD présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique, Ressources naturelles Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/adaptool_synthesis.pdf>
- Bonsal, B.R., Peters, D.L., Seglenieks, F., Rivera, A. et Berg, A. (2019). « Évolution de la disponibilité de l'eau douce à l'échelle du Canada », chapitre 6 dans *Canada's Changing Climate Report*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 261–342. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/6-0/>>
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013). « Climate Change, Adaptation and Canadian Infrastructure: A review of the literature ». Préparé par l'Institut international du développement durable (IIDD), 40 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/adaptation_can_infrastructure.pdf>
- Brown, C. et Wilby, R.L. (2012). « An alternate approach to assessing climate risks ». *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 93(41), 401–402. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2012EO410001>>
- Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (2016). Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes : Éclairer l'avenir. 168 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://www.canadianinfrastructure.ca/downloads/Bulletin_de_rendement_des_infrastructures_canadiennes_2016.pdf>
- Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (2019). Éclairer l'avenir : Évaluer la santé des infrastructures de nos collectivités. 56 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.canadianinfrastructure.ca/downloads/bulletin-rendement-infrastructures-canadiennes-2019.pdf>>
- Burch, S. (2010). « Transforming barriers into enablers of action on climate change: Insights from three municipal case studies in British Columbia, Canada ». *Global Environmental Change*, 20(2), 287–297. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.11.009>>
- Bureau d'assurance du Canada (2017). « Spring flooding in Ontario and Quebec caused more than \$223 million in insured damage ». Consulté en février 2021 sur le site <<http://www.ibc.ca/on/resources/media-centre/media-releases/spring-flooding-in-ontario-and-quebec-caused-more-than-223-million-in-insured-damage>>
- Bureau d'assurance du Canada (2019a). « Eastern Canada Spring Flooding Caused Close to \$208 million in Insured Damage ». Consulté en février 2021 sur le site <<http://www.ibc.ca/on/resources/media-centre/media-releases/eastern-canada-spring-flooding-caused-close-to-208-million-in-insured-damage>>
- Bureau d'assurance du Canada (2019b). Assurances de dommages au Canada 2019, 74 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://assets.ibc.ca/Documents/Facts Book/Facts_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf>
- Bureau du directeur parlementaire du budget (2016). Estimation du coût annuel moyen des Accords d'aide financière en cas de catastrophe causée par un événement météorologique. Ottawa, Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2016/DFAA/DFAA_FR.pdf>
- Bush, E. et Lemmen, D.S., (éd.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). 444 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2020/06/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf>

- Bush, E., Gillett, N., Watson, E., Fyfe, J., Vogel, F. et Swart, N. (2019). « Comprendre les changements climatiques mondiaux observés », chapitre 2 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2019, p. 24–73. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/2-0/>>
- Cameron, E., Mearns, R. et McGrath, J.T. (2015). « Translating Climate Change: Adaptation, Resilience, and Climate Politics in Nunavut, Canada ». *Annals of the Association of American Geographers*, 105(2), 274–283. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/00045608.2014.973006>>
- Campbell, I.D., Durant D.G., Hunter, K.L. et Hyatt, K.D. (2014). « La production alimentaire », chapitre 4 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 99–134. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Full-Report_Eng.pdf>
- Carmichael, W.W. et Boyer, G.L. (2016). « Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes ». *Harmful Algae*, 54, 194–212. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.02.002>>
- Carrière, A., Prévost, M., Zamyadi, A., Chevalier, P. et Barbeau, B. (2010). « Vulnerability of Quebec drinking-water treatment plants to cyanotoxins in a climate change context ». *Journal of Water and Health*, 8, 455–465. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2166/wh.2009.207>>
- Casello, J. et Towns, W. (2017). « Urbain », chapitre 9 dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 289–340. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-9f.pdf>>
- Castleden, H. et Skinner, E. (2014). « Whitewashing Indigenous water rights in Canada: How can we Indigenize climate change adaptation if we ignore the fundamentals? », chapitre 11 dans *Adaptation to Climate Change Through Water Resources Management: Capacity, Equity and Sustainability*. D. Stucker et E. López-Gunn (éd.). Routledge, 223–242.
- Chu, C. (2015). « Climate Change Vulnerability Assessment for Inland Aquatic Ecosystems in the Great Lakes Basin, Ontario ». Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. Consulté en juin 2020 sur le site <http://www.climateontario.ca/MNR_Publications/CCRR-43.pdf>
- Clamen, M. et Macfarlane, D. (2018). « Plan 2014: The historical evolution of Lake Ontario–St. Lawrence River regulation ». *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 43, 416–431. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07011784.2018.1475263>>
- Clancy, P. (2014). « Freshwater Politics in Canada ». University of Toronto Press.
- Clark, M.P., Wilby, R.L., Gutmann, E.D., Vano, J.A., Gangopadhyay, S., Wood, A.W. et Brekke, L.D. (2016). « Characterizing uncertainty of the hydrologic impacts of climate change ». *Current Climate Change Reports*, 2(2), 55–64. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-016-0034-x>>
- Clark, R., Andreichuk, I., Sauchyn, D. et McMartin, D.W. (2017). « Incorporating climate change scenarios and water-balance approach to cumulative assessment models of solution potash mining in the Canadian Prairies ». *Climatic Change*, 145, 321–334. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2099-5>>
- Cochran, M., Manuel, P. et Rapaport, E. (2012). « Section 5: Social Vulnerability to Climate Change in the Municipality of the District of Lunenburg, Nova Scotia » dans *Municipality of the District of Lunenburg: A Case Study in Climate Change Adaptation-Part 2*. Atlantic Climate Adaptation Solutions Association (ACASA). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A548>>
- Cohen, S., Koshida, G. et Mortsch, L. (2015). « Climate and water availability indicators in Canada: Challenges and a way forward. Part III – Future scenarios ». *Canadian Water Resources Journal*, 40, 160–172. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1006021>>
- Cohen, S., Neilsen, D., Smith, S., Neale, T., Taylor, B., Barton, M. et Tansey, J. (2006). « Learning with local help: Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Region, British Columbia, Canada ». *Climatic Change*, 75(3), 331–358. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-006-6336-6>>
- Comeau, L. (2017). « Healthy Water, Healthy People: New Brunswickers' concerns and attitudes about fresh water and preparedness for extreme weather events ». Rapport préparé pour le Conseil de conservation du Nouveau-Brunswick. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.conservationcouncil.ca/wp-content/uploads/2013/02/WaterSummaryReportFeb2017.pdf>>
- Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais (2019). Gestion intégrée des réservoirs dans le bassin versant de la rivière des Outaouais. Consulté en juin 2020 sur le site <http://ottawariver.ca/wp-content/uploads/2019/02/2018_ORRPB_CPRRO_Reservoir.pdf>
- Commission mixte internationale (2015). Un système en temps réel de prévision des crues et de cartographie des inondations pour le lac Champlain et la rivière Richelieu. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ijc.org/sites/default/files/Lac-Champlain-Rapport-de-la-CMI-aux-gvts-dec-2015-NEW.pdf>>

- Commission mixte internationale (2017). Première évaluation triennale des progrès réalisés pour améliorer la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Rédigé par la Commission mixte internationale conformément à l'article 7 1) k) de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (2012) le 28 novembre 2017. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ijc.org/sites/default/files/2020-06/Rpt_-_First_Triennial_Assessment_of_Progress_-_GLWQA_-_Final_Report_French_-_2017-11-28.pdf>
- Commission mixte internationale (2018). Un cadre d'orientation sur les changements climatiques à l'intention des Conseils de la CMI. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ijc.org/fr/quoi/climat/cadre>>
- Comité de gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (2018). Résumé des répercussions du niveau d'eau et des conditions observées dans le bassin des Grands Lacs en 2017 à l'appui de l'évaluation continue du plan de régularisation. Préparé pour la Commissions mixte internationale. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ijc.org/fr/une-etude-sur-la-gestion-adaptative-appuie-les-plans-de-regularisation-du-debit-des-grands-lacs-et>>
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (2011). Sélection d'outils pour l'évaluation des réseaux de surveillance de l'eau aux fins de l'adaptation aux changements climatiques. 177 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ccme.ca/files/Resources/fr_water/fr_climate-change/pn_1465_wmcc_tools_fr.pdf>
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (2016). Synthèse des approches de gestion intégrée par bassin versant au Canada. 31 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ccme.ca/files/Resources/fr_water/fr_water_conservation/Synth%3a8se%20des%20approches%20de%20gestion%20int%3a9gr%3a9e%20par%20bassin%20versant%20au%20Canada%20PN%201560.pdf>
- Conseil canadien des ingénieurs (2008). Adaptation au changement climatique Première évaluation nationale de la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques au Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://pievc.ca/sites/default/files/adapting_to_climate_change_report_final_fr.pdf>
- Conseil international du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent (2018). Conditions observées et régularisation du débit en 2017. Rapport présenté à la Commission mixte internationale, 25 mai, 2018. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ijc.org/fr/clofsl/conditions-observees-et-regularisation-du-debit-en-2017-0>>
- Conservation Ontario (2020). « About Conservation Authorities ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://conservationontario.ca/conservation-authorities/about-conservation-authorities/>>
- Cook, B.R., Atkinson, M., Chalmers, H., Comins, L., Cooksley, S., Deans, N., Fazey, I., Fenemor, A., Kesby, M., Litke, S., Marshall, D. et Spray, C. (2013). « Interrogating participatory catchment organisations: cases from Canada, New Zealand, Scotland and the Scottish-English Borderlands ». *The Geographical Journal*, 179(3), 234-247. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2012.00492.x>>
- Corkal, D.R., Diaz, H. et Sauchyn, D. (2011). « Changing Roles in Canadian Water Management: A Case Study of Agriculture and Water in Canada's South Saskatchewan River Basin ». *International Journal of Water Resources Development*, 27, 647-664. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.parc.ca/wp-content/uploads/2019/05/Corkal_Diaz_Sauchyn-2011-Changing_roles_in_Canadian_water_management_a_case_study_of_agriculture_and_water_in_Canadas_South_Saskatchewan_River_Basin.pdf>
- Cosens, B.A., Craig, R.K., Hirsch, S., Arnold, C.A.(T.), Benson, M.H., DeCaro, D.A., Garmestani, A.S., Gosnell, H., Ruhl, J. et Schlager, E. (2017). « The role of law in adaptive governance ». *Ecology and Society*, 22, 30. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-08731-220130>>
- Crona, B.I. et Parker, J.N. (2011). « Network determinants of knowledge utilization: Preliminary lessons from a boundary organization » *Science Communication*, 33, 448-471. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/1075547011408116>>
- Crossman, J., Futter, M.N., Oni, S.K., Whitehead, P.G., Jin, L., Butterfield, D., Baulch, H.M. et Dillon, P.J. (2013). « Impacts of climate change on hydrology and water quality: Future proofing management strategies in the Lake Simcoe watershed, Canada ». *Journal of Great Lakes Research*, 39, 19-32. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.11.003>>
- Dale, A., Robinson, J., King, L., Burch, S., Newell, R., Shaw, A. et Jost, F. (2019). « Meeting the climate change challenge: local government climate action in British Columbia, Canada ». *Climate Policy*, 1-15. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1651244>>
- Daniell, K.A., Coombes, P.J. et White, I. (2014). « Politics of innovation in multi-level water governance systems ». *Journal of Hydrology*, 519, 2415-2435. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.058>>
- de Loë, R. (2009). « Sharing the Waters of the Red River Basin: A Review of Options for Transboundary Water Governance ». Préparé pour le Conseil international de la rivière Rouge, Commission mixte internationale. Rob de Loë Consulting Services, Guelph, Ontario. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://legacyfiles.ijc.org/publications/Sharing%20the%20Waters%20of%20the%20Red%20River%20Basin.pdf>>
- de Loë, R. (2017). « Coordinating water policies: necessary, but not sufficient » dans *Water Policy and Governance in Canada*, S. Renzetti, D. Dupont (éd.). Global Issues in Water Policy Series, 17, 231-248. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- de Loë, R. et Plummer, R. (2010). « Climate change, adaptive capacity, and governance for drinking water in Canada » dans *Adaptive Capacity and Environmental Governance*, D. Armitage et R. Plummer (éd.). Springer Series on Environmental Management, Springer, Berlin, Heidelberg.

- de Loë, R., Kreutzwisera, R. et Morarub, L. (2001). « Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector ». *Global Environmental Change*, 11, 231–245. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00053-4)>
- De Stefano, L., Duncan, J., Dinar, S., Stahl, K., Strzepek, K.M. et Wolf, A.T. (2012). « Climate change and the institutional resilience of international river basins ». *Journal of Peace Research*, 49(1), 193–209. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0022343311427416>>
- Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., Thackeray, C. et Kirchmeier-Young, M. (2019). Évolution de la neige, de la glace et du pergélisol à l'échelle du Canada, chapitre 5 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 195–261. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/5-0/>>
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Yan, K., Brandimarte, L. et Blöschl, G. (2015). « Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes ». *Water Resources Research*, 51, 4770–4781. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2014WR016416>>
- Diaz, H., Hurlbert, M., Warren, J. et Corkal, D.R. (2009). « Unit 1E Institutional Adaptation to Climate Change Project » dans *Saskatchewan Water Governance Assessment Final Report*. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.parc.ca/mcri/pdfs/papers/gov01.pdf>>
- Döll, P., Jiménez-Cisneros, B., Oki, T., Arnell, N.W., Benito, G., Cogley, J.G., Jiang, T., Kundzewicz, Z.W., Mwakilila, S. et Nishijima, A. (2015). « Integrating risks of climate change into water management ». *Hydrological Sciences Journal*, 60, 4–13. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/02626667.2014.967250>>
- Dunn, G. et Bakker, K. (2011). « Fresh water-related indicators in Canada: an inventory and analysis ». *Canadian Water Resources Journal*, 36(2), 135–148. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4296/cwrj3602815>>
- Ecology North (2017). « Northwest Territories Climate Change Adaptation Needs Assessments ».
- El-Khoury, A., Seidou, O., Lapen, D.R., Que, Z., Mohammadian, M., Sunohara, M. et Bahram, D. (2015). « Combined impacts of future climate and land use changes on discharge, nitrogen and phosphorus loads for a Canadian river basin ». *Journal of Environmental Management*, 151, 76–86. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.012>>
- Environnement et Changement climatique Canada (2018). L'Initiative du Bassin du Lac Winnipeg rapport final phase II : résumé. Consulté en février 2021 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/En4-137-3-2019-fra.pdf>
- EPCOR (2019). « FAQs ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.epcor.com/products-services/drainage/rates-terms-and-conditions/Pages/faqs.aspx>>
- Équipe de travail internationale sur la gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (2013). « Building Collaboration Across the Great Lakes – St. Lawrence River System: An Adaptive Management Plan for Addressing Extreme Water Levels ». Rapport présenté à la Commission mixte internationale le 30 mai 2013. Consulté en juin 2020 sur le site <https://legacyfiles.ijc.org/publications/FinalReport_AdaptiveManagementPlan_20130530.pdf>
- Eyzaguirre, J. (2015). Incidence du programme canadien d'Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale à l'égard des changements climatiques. Préparé par ESSA Technologies Ltd. pour Ressources naturelles Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/environment/pdf/RAC_Project_Impact_Report-fra.pdf>
- Failing, L., Gregory, R. et Higgins, P. (2013). « Science, Uncertainty, and Values in Ecological Restoration: A Case Study in Structured Decision-Making and Adaptive Management ». *Restoration Ecology*, 21, 422–430. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00919.x>>
- Félio, G. (2015). « Tools to evaluate the vulnerability and adaptation of infrastructure to climate change ». Compte rendu de la conférence annuelle de la Société canadienne de génie civil, 2, 742–751. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84977083808&partnerID=40&md5=87be43609bbdb474d764b0e528e4248d>>
- Félio, G. (2017). « Climate Change Impacts on Water and Wastewater Infrastructure at Akwesasne ». Préparé pour l'Ontario First Nations Technical Services Corporation (OFNTSC). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://pievc.ca/sites/default/files/climate-change-impacts-water-wastewater-akwesasne-05-18-e.pdf>>
- Feltmate, B. et Moudrak, M. (2015). État de préparation de 15 villes canadiennes à limiter les dommages dus aux inondations. Rapport préparé pour Co-operators. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.cooperatorsgroupinsurance.ca/fr-CA/~/_media/Cooperators%20Media/Section%20Media/AboutUs/Sustainability/FrenchPDF/Flood%20Paper_Preparedness%20of%20Cities_FINAL_FR_21May2015.pdf>
- Ferguson, G. et Beebe, C. (2012). « Vulnerability of Nova Scotia's Coastal Groundwater Supplies to Climate Change ». Atlantic Climate Adaptation Solutions Association (ACASA). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A572>>
- Fletcher, A.J. et Knuttila, E. (2018). « Gendering change » dans *Vulnerability and Adaptation to Drought: The Canadian Prairies and South America*, H. Diaz, M. Hurlbert et J. Warren (éd.). University of Calgary Press, 159–178.

- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P. et Norberg, J. (2005). « Adaptive governance of social-ecological systems ». *Annual Review of Environment and Resources*, 15, 441–473. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>>
- Ford, J.D. et King, D. (2015). « A framework for examining adaptation readiness ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20, 505–526. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-013-9505-8>>
- Ford, J. D. et Pearce, T. (2010). « What we know, do not know, and need to know about climate change vulnerability in the western Canadian Arctic: A systematic literature review ». *Environmental Research Letters*, 5. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014008>>
- Ford, J.D., McDowell, G. et Pearce, T. (2015). « The adaptation challenge in the Arctic ». *Nature Climate Change*, 5(12), 1046–1053. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2723>>
- Ford, J.D., Couture, N., Bell, T. et Clark, D.G. (2017). « Climate change and Canada's north coast: research trends, progress, and future directions ». *Environmental Reviews*, 26(1), 82–92. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2017-0027>>
- Garrick, D.E. (2017). « Water Security and Adaptation to Climate Extremes in Transboundary Rivers of North America » dans *Water Policy and Governance in Canada*, S. Renzetti, D. Dupont (éd.). Global Issues in Water Policy Series, 17, 231–248. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels, Contribution du Groupe de travail II au Cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, É.-U., 1132 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf>
- Global Water Futures (2020). Entrevues avec des spécialistes canadiens de l'eau. Préparé par le Global Institute of Water Security. University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Gober, P. (2013). « Getting Outside the Water Box: The Need for New Approaches to Water Planning and Policy ». *Water Resources Management*, 27, 955–957. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11269-012-0222-y>>
- Gober, P. (2018). « Building resilience for uncertain water futures ». Palgrave Macmillan, Springer Nature, 213 p.
- Goldstein, A., Turner, W.R., Gladstone, J. et Hole, D.G. (2019). « The private sector's climate change risk and adaptation blind spots ». *Nature Climate Change*, 9, 18–25. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0340-5>>
- Gooré Bi, E., Monette, F., Gachon, P., Gaspéri, J. et Perrodin, Y. (2015). « Quantitative and qualitative assessment of the impact of climate change on a combined sewer overflow and its receiving water body ». *Environmental Science and Pollution Research*, 22(15), 11905–11921. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4411-0>>
- Goulding, H. (2011). « Yukon Water: An Assessment of Climate Change Vulnerabilities ». Préparé par le gouvernement du Yukon, 98 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://open.yukon.ca/data/sites/default/files/yukonwater_climatechange_report_0.pdf>
- Gouvernement de l'Alberta (2018). « Bow River TransAlta Agreement ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/dataset/d0ee8794-b79b-4bd6-b50a-210c9af60104/resource/fa28185b-1ca8-4fa5-9ada-371de208f582/download/aep-flood-mitigation-bow-river-transalta-fact-sheet.pdf>>
- Gouvernement du Canada (2013). Programme de réduction des dommages causés par les inondations. Environnement et Changement climatique Canada.
- Gouvernement du Canada (2020a). Lever les avis concernant la qualité de l'eau potable à long terme. Services aux Autochtones Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.sac-isc.gc.ca/eng/1516134315897/1533663683531>>
- Gouvernement du Canada (2020b). Avis à long terme pour des systèmes d'eau situés au sud du 60e et qui ne reçoivent pas de soutien financier du gouvernement du Canada. Services aux Autochtones Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.sac-isc.gc.ca/eng/1516134315897/1533663683531>>
- Gouvernement du Canada et gouvernement des États-Unis d'Amérique (2012). Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs : Protocole amendant l'Accord de 1978 entre le Canada et les États-Unis d'Amérique relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, tel qu'il a été modifié le 16 octobre 1983 et le 18 novembre 1987, signé le 7 septembre 2012. Consulté en juin 2020 sur le site <https://binational.net/wp-content/uploads/2014/05/1094_Canada-USA-GLWQA_f.pdf>
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick (2019). Niveaux d'eau historiques à partir de 2019. Consulté en février 2021 sur le site <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/pa-ap/River_Watch/pdf/HistoricWaterLevels.pdf>
- Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador (2012). « Logy Bay - Middle Cove - Outer Cove Case Study ». Climate Change Vulnerability Assessment by Policy and Planning Division of Department of Environment and Conservation. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A542>>

- Great Lakes Environmental Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration (2019). « Great Lakes Water Levels ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.glerl.noaa.gov/data/wlevels/>>
- Gronewold, A.D., Bruxer, J., Durnford, D., Smith, J.P., Clites, A.H., Seglenieks, F., Qian, S.S., Hunter, T.S. et Fortin, V. (2016). « Hydrological drivers of record-setting water level rise on Earth's largest lake system ». *Water Resources Research*, 52, 4026–4042. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2015WR018209>>
- Gronewold, A.D. et Rood, R.B. (2019). « Climate Change Sends Great Lakes Water Levels Seesawing ». The Conversation US, June 8, 2019. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.scientificamerican.com/article/climate-change-sends-great-lakes-water-levels-seesawing/>>
- Groulx, M., Lewis, J., Lemieux, C. et Dawson, J. (2014). « Place-based climate change adaptation: A critical case study of climate change messaging and collective action in Churchill, Manitoba ». *Landscape and Urban Planning*, 132, 136–147. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.002>>
- Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent (2006). Options en matière de gestion des niveaux et des débits du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. Rapport du Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent présenté à la Commission mixte internationale. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.losl.org/PDF/report-main-f.pdf>>
- Groupe d'étude international des Grands Lacs d'amont (2009). Impacts sur les niveaux d'eau des Grands Lacs d'amont - la rivière Sainte-Claire. Préparé pour la Commission mixte internationale, 28 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ijc.org/sites/default/files/Sommaire%20rapport%20St%20Claire.pdf>>
- Groupe d'étude international des Grands Lacs d'amont (2012). « Lake Superior Regulation: Addressing Uncertainty in Upper Great Lakes Water Levels ». Préparé pour la Commission mixte internationale, 176 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/ijc/E95-2-15-2012-eng.pdf>
- Groupe MMM (2014). « National Floodplain Mapping Assessment - Final Report ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.slideshare.net/glennmccgillivray/national-floodplain-mapping-assessment>>
- Groves, D.G. et Lempert, R.J. (2007). « A new analytic method for finding policy-relevant scenarios ». *Global Environmental Change*, 17, 73–85. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.11.006>>
- Gupta, J., Termeer, C.J.A.M., Klostermann, J., Meijerink, S., van den Brink, M., Jong, P., Nooteboom, S. et Bergsma, E., (2010). « The adaptive capacity wheel: A method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society ». *Environmental Science & Policy*, 12(6). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.05.006>>
- Guyadeen, D., Thistlethwaite, J. et Henstra, D. (2018). « Evaluating the quality of municipal climate change plans in Canada ». *Climatic Change*, 152, 121–143. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2312-1>>
- Hall, J.W., Grey, D., Garrick, D., Fung, F., Brown, C., Dadson, S.J. et Sadoff, C.W. (2014). « Coping with the curse of variability: Adaptation pathways to water security ». *Science*, 346(6208), 429–430. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/201410_Hall_Freshwater.pdf>
- Hamlet, A.F. (2011). « Assessing water resources adaptive capacity to climate change impacts in the Pacific Northwest Region of North America ». *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1427–1443. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5194/hess-15-1427-2011>>
- Heinmiller, B.T. (2017). « The Politics of Water Policy Development in Canada » dans *Water Policy and Governance in Canada*, S. Renzetti, D. Dupont (éd.). Global Issues in Water Policy Series, 17, 215–229. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-42806-2>>
- Henrich, N., Holmes, B. et Prystajacky, N. (2015). « Looking upstream: Findings from focus groups on public perceptions of source water quality in British Columbia, Canada ». *PLoS ONE*, 10, 1–16. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141533>>
- Henstra, D., Minano, A. et Thistlethwaite, J. (2019a). « Communicating disaster risk? An evaluation of the availability and quality of flood maps ». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19, 313–323. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5194/nhess-19-313-2019>>
- Henstra, D., Thistlethwaite, J., Brown, C. et Scott, D. (2019b). « Flood risk management and shared responsibility: Exploring Canadian public attitudes and expectations ». *Journal of Flood Risk Management*, 12, 1–10. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfr3.12346>>
- Hill, C., Furlong, K., Bakker, K. et Cohen, A. (2009). « Harmonization Versus Subsidiarity in Water Governance: A Review of Water Governance and Legislation in the Canadian Provinces and Territories ». *Canadian Water Resources Journal*, 33(4), 315–332. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4296/cwrj3304315>>

- Hurlbert, M.A. (2018). « Adaptive Governance (Management, Co-management and Anticipatory) » dans *Adaptive Governance of Disaster: Drought and Flood in Rural Areas*, dans *Water Governance - Concepts, Methods, and Practice book series (WGCMP)*, 21–48. Springer, Cham, Consulté en juin 2020 sur le site <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57801-9_2>
- Hurlbert, M.A. et Diaz, H. (2013). « Water Governance in Chile and Canada ». *Ecology and Society*, 18. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-06148-180461>>
- Hurlbert, M., Andrews, E., Tesfamariam, Y. et Warren, J. (2015). « Governing Water, Deliberative Institutions and Adaptation. Report for Water Governance and Climate Change: the engagement of civil society project ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.parc.ca/vacea/assets/PDF/reports/local%20water%20governance%20final%20report.pdf>>
- Hurlbert, M., Corkal, D. et Diaz, H. (2010). « Government Institutions and Water Policy » dans *The New Normal: The Canadian Prairies in a Changing Climate*, D. Sauchyn, H. Diaz et S. Kulshreshtha (éd.). Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina, Saskatoon, 239–245.
- ICF (2018). Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante aux changements climatiques. Préparé pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement, 69 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://ccme.ca/fr/res/natural_infrastructure_report_fr.pdf>
- Infrastructure Canada (2018). Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes - Foire aux questions. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.infrastructure.gc.ca/dmaf-faac/faq-fra.html>>
- Ingénieurs Canada (s.d.). À propos | Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP). Consulté en MOIS 2020 sur le site <<https://pievc.ca/>>
- Ingénieurs Canada (2018). Combiner le savoir traditionnel et le cadre du CVIIP pour renforcer la résilience climatique des infrastructures dans les communautés autochtones. <<https://engineerscanada.ca/fr/nouvelles-et-evenements/nouvelles/combiner-le-savoir-traditionnel-et-le-cadre-du-cviip>>
- Institut international du développement durable (2016). « Large Area Planning in the Nelson-Churchill River Basin (NCRB): Laying a foundation in northern Manitoba ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/large-area-planning-nelson-churchill-river-basin-full-report.pdf>>
- Inuit Tapiriit Kanatami (2019). « National Inuit Climate Change Strategy ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2019/06/ITK_Climate-Change-Strategy_English_lowres.pdf>
- Islam, S. ul, Déry, S.J. et Werner, A.T. (2017). « Future climate change impacts on snow and water resources of the Fraser River Basin, British Columbia ». *Journal of Hydrometeorology*, 18, 473–496. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/jhm-d-16-0012.1>>
- Ivey, J., Smithers, L.J., de Loë, R. et Kreuzwiser, R.D. (2004). « Community capacity for adaptation to climate-induced water shortages: Linking institutional complexity and local actors ». *Environmental Management*, 33, 36–47. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00267-003-0014-5>>
- Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga-Alvarez, U., Madoux-Humery, A.-S., Galarneau, M., Servais, P. et Dorner, S. (2015). « Impacts of global change on the concentrations and dilution of combined sewer overflows in a drinking water source ». *The Science of the Total Environment*, 508, 462–476. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.059>>
- Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga, U., Heniche, M., Madoux-Humery, A.-S., Autixier, L., Galarneau, M., Servais, P., Prevost, M. et Dorner, S. (2017). « Modelling the impacts of global change on concentrations of Escherichia coli in an urban river ». *Advances in Water Resources*, 108, 450–460. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.10.001>>
- Johns, C.M. (2017). « The Great Lakes, Water Quality and Water Policy in Canada » dans *Water Policy and Governance in Canada*, S. Renzetti et D. Dupont (éd.). Global Issues in Water Policy Series, 17, 13–28. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Jones-Bitton, A., Gustafson, D.L., Butt, K. et Majowicz, S.E. (2016). « Does the public receive and adhere to boil water advisory recommendations? A cross-sectional study in Newfoundland and Labrador, Canada ». *BMC Public Health*, 16(14). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s12889-015-2688-z>>
- Jost, G. et Weber, F. (2013). « Potential Impacts of Climate Change on BC Hydro-Managed Water Resources ». Préparé par BC Hydro, 1–28. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.bchydro.com/content/dam/BCHydro/customer-portal/documents/corporate/environment-sustainability/environmental-reports/potential-impacts-climate-change-on-bchydro-managed-water-resources.pdf>>
- Kirchmeier-Young, M.C. et Zhang, X. (2020). « Human influence has intensified extreme precipitation in North America ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 117(24), 13308–13313. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1921628117>>
- KGS Group (2016). « Assiniboine River and Lake Manitoba Basins Flood Mitigation Study ». Rapport préparé pour Manitoba Infrastructure. Gouvernement du Manitoba. Consulté en août 2018 sur le site <<https://www.gov.mb.ca/mit/wms/wm/study.html>>

- Koshida, G., Cohen, S. et Mortsch, L. (2015). « Climate and water availability indicators in Canada: Challenges and a way forward. Part I – Indicators ». *Canadian Water Resources Journal*, 40, 133–145. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2015.1006023>>
- Kovacs, P. et Thistlethwaite, J. (2014). « Industrie », chapitre 5 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 135–158. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf>
- Kulshreshtha, S., Wheaton, E. et Wittrock, V. (2016). « The Impacts of the 2001-2 Drought in Rural Alberta and Saskatchewan, and Canada » chapitre 4 dans *Vulnerability and Adaptation to Drought: The Canadian Prairies and South America*, H. Diaz, M. Hurlbert et J. Warren (éd.). University of Calgary Press, Calgary, 79–107. Consulté en juin 2020 sur le site <https://prism.ucalgary.ca/bitstream/handle/1880/51490/Vulnerability_and_adaptation_to_drought_2016_part%203.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Kwakkel, J.H., Walker, W.E. et Haasnoot, M. (2016). « Coping with the wickedness of public policy problems: Approaches for decision making under deep uncertainty ». *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(3). Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000626](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000626)>
- Lachapelle, E., Borick, C.P. et Rabe, B.G. (2014). « Public Opinion on Climate Change and Support for Various Policy Instruments in Canada and the US: Findings from a Comparative 2013 Poll ». *Issues in Energy and Environmental Policy*, 11. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ssrn.com/abstract=2652429>>
- Lake Simcoe Region Conservation Authority (2013). « A Local Perspective on Climate Change ». *Lake Simcoe Science Newsletter*, 5. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.lsrca.on.ca/Shared%20Documents/newsletter/science-newsletter-vol5.pdf>>
- Lake Simcoe Region Conservation Authority (2016). « “Our Watershed” | Lake Simcoe Watershed ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.lsrca.on.ca/our-watershed>>
- Lake Simcoe Region Conservation Authority (2017). « Lake Simcoe Phosphorus Load: Update 2012/13–2014/15 ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.lsrca.on.ca/Shared%20Documents/reports/Phosphorus_Load_Report.pdf>
- Lake Simcoe Region Conservation Authority (2019). « Phosphorus offsetting policy ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.lsrca.on.ca/Shared%20Documents/Phosphorus_Offsetting_Policy.pdf>
- Latta, A. (2018). « Indigenous Rights and Multilevel Governance: Learning From the Northwest Territories Water Stewardship Strategy ». *International Indigenous Policy Journal*, 9. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.18584/iipj.2018.9.2.4>>
- Land Trust Alliance (2019). « Conservation in a Changing Climate – Adaptive Management ». <<https://climatechange.lta.org/get-started/adapt/adaptive-management/>>
- Langsdale, S., Cohen, S., Welbourn, R. et Tansey, J. (2004). « Dialogue on Adaptation to Climate Change in the Okanagan Basin, British Columbia, Canada ». *Critical Transitions in Water and Environmental Resource Management*, 1–9. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/40737\(2004\)154](https://doi.org/10.1061/40737(2004)154)>
- Lee, K. (1999). « Appraising Adaptive Management- Ecology and Society ». *Ecology and Society*, 3, 1–16. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-00131-030203>>
- Lemieux, C.J., Gray, P.A., Douglas, A.G., Nielsen, G. et Pearson, D. (2014). « From science to policy: The making of a watershed-scale climate change adaptation strategy ». *Environmental Science & Policy*, 42, 123–137. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.004>>
- Lemmen, D.S., Johnston, M., Ste-Marie, C. et Pearce, T. (2014). « Ressources naturelles », chapitre 3 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 65–98. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf>
- Lempert, R.J. et Collins, M.T. (2007). « Managing the risk of uncertain threshold responses: comparison of robust, optimum, and precautionary approaches ». *Risk Analysis: an Official Publication of the Society for Risk Analysis*, 27, 1009–1026. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00940.x>>
- Lempert, R.J. et Groves, D.G. (2010). « Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west ». *Technological Forecasting and Social Change*, 7(6), 960–974. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.007>>
- Lempert, R., Popper, S.W. et Bankes, S. (2003). « Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis ». RAND, Santa Monica, Californie, 187 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/2007/MR1626.pdf>
- Lesnikowski, A., Ford, J., Biesbroek, R., Berrang-Ford, L., Maillet, M., Araos, M. et Austin, S.E. (2017). « What does the Paris Agreement mean for adaptation? ». *Climate Policy*, 17, 825–831. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1248889>>
- Lieske, D.J., Wade, T. et Roness, L.A. (2014). « Climate change awareness and strategies for communicating the risk of coastal flooding: A Canadian Maritime case example ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 83–94. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.04.017>>

- Lindsay, B. (2018). « The future looks grim after 2 years of devastating B.C. wildfires ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/the-future-looks-grim-after-2-years-of-devastating-b-c-wildfires-1.4801181>>
- Liu, J., Baulch, H.M., Macrae, M.L., Wilson, H.F., Elliott, J.A., Bergström, L. et Vadas, P.A. (2019). « Agricultural Water Quality in Cold Climates: Processes, Drivers, Management Options, and Research Needs ». *Journal of Environmental Quality*, 48, 792–802. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2134/jeq2019.05.0220>>
- Lo, A.Y. (2013). « The role of social norms in climate adaptation: Mediating risk perception and flood insurance purchase ». *Global Environmental Change*, 23, 1249–1257. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.07.019>>
- MacLean, C. (2017). « 5-year fight removes less than 1% of phosphorus from Lake Winnipeg Basin ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/manitoba/lake-winnipeg-phosphorus-algae-blooms-1.4293366>>
- Magzul, L. et Rojas, A. (2006). « Report on the Blood Tribe (Kainai Nation): community vulnerabilities. Institutional Adaptation to Climate Change (IACC) Project report ». IACC, La Sarena, Chili. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.parc.ca/mcri/pdfs/papers/iacc051.pdf>>
- Maier, H. R., Guillaume, J.H.A., van Delden, H., Riddell, G.A., Haasnoot, M. et Kwakkel, J.H. (2016). « An uncertain future, deep uncertainty, scenarios, robustness and adaptation: How do they fit together? » *Environmental Modelling & Software*, 81, 154–164. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.014>>
- Mailhot, E., Music, B., Nadeau, D.F., Frigon, A. et Turcotte, R. (2019). « Assessment of the Laurentian Great Lakes' hydrological conditions in a changing climate ». *Climatic Change*, 157, 243–259. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-019-02530-6>>
- Manitoba Hydropower (s.d.). « The Manitoba Hydro system watershed ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.manitobahydropower.com/who-we-are/>>
- Mantyka-Pringle, C.S., Jardine, T.D., Bradford, L., Bharadwaj, L., Kythreotis, A.P., Fresque-Baxter, J. et Lindenschmidt, K.-E. (2017). « Bridging science and traditional knowledge to assess cumulative impacts of stressors on ecosystem health ». *Environment International*, 102, 125–137. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.008>>
- McCullough, G.K., Page, S.J., Hesslein, R.H., Stainton, M.P., Kling, H.J., Salki, A.G. et Barber, D.G. (2012). « Hydrological forcing of a recent trophic surge in Lake Winnipeg ». *Journal of Great Lakes Research*, 38, 95–105. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2011.12.012>>
- McKay, J. (2019). « City of Iqaluit declares 2nd water emergency in 2 years ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/north/lake-geraldine-city-iqaluit-water-emergency-1.5235383>>
- McKenzie-Mohr, D. (2000). « Fostering sustainable behavior through community-based social marketing ». *American Psychologist*, 55(5), 531. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.5.531>>
- McMillan, T., Causley, D., Hanna, K., Lulham, N., Seasons, M. et Boddy, S. (2019). « Local Adaptation in Canada, Survey Report ». Fédération canadienne des municipalités, Université de la Colombie-Britannique et Université de Waterloo. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://ok-cear.sites.olt.ubc.ca/files/2019/06/Local-Adaptation-in-Canada-Full-web-1.pdf>>
- McNeil, D. (2019). « An Independent Review of the 2019 Flood Events in Ontario ». Un rapport pour l'hon. John Yakabuski, le Ministre des Richesses naturelles et des Forêts. Consulté en avril 2021 sur le site <<https://files.ontario.ca/mnrf-english-ontario-special-advisor-on-flooding-report-2019-11-25.pdf>>
- Mguni, V. (2015). « Integrated Risk Management for Municipal Water Systems in Canada through Inter-jurisdictional ecosystem management using conservation authorities as a model ». Livre blanc préparé pour le Réseau canadien de l'eau. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://cvc.ca/wp-content/uploads/2016/09/Appendix-K-Integrated-Risk-Management-for-Municipal-Water-Systems-in-Canada-through-inter-jurisdictional-ecosystem-management.pdf>>
- Mildenberger, M., Howe, P., Lachapelle, E., Stokes, L., Marlon, J. et Gravelle, T. (2016). « The distribution of climate change public opinion in Canada ». *PLoS ONE*, 11, e0159774. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159774>>
- Miller, L. (2015). Mise à jour des infrastructures au Canada : un examen des besoins et des investissements. Rapport du Comité permanent des transports, de l'infrastructure et des collectivités. Consulté en juin 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/parl/x27-1/XC27-1-1-412-9-fra.pdf>
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P. et Stouffer, R.J. (2008). « Stationarity Is Dead: Whither Water Management? » *Science*, 319, 573–574. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1151915>>
- Milner, G., Delaney, F., Baginski, B., Baus, N., Hall, A., Jackson, A. et Witt, J. (2018). « Prioritizing climate science knowledge gaps in the Great Lakes Water Quality Agreement ». Préparé conjointement par l'Ontario Climate Consortium et le Centre for Environment and Sustainability pour fournir des commentaires sur l'annexe 9 sur les répercussions des changements climatiques dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://climateconnections.ca/app/uploads/2019/02/Prioritizing-Climate-Science-Knowledge-Gaps-in-the-Great-Lakes-Basin3.pdf>>

- Minville, M., Krau, S., Brissette, F. et Leconte, R. (2010). « Behaviour and performance of a water resource system in Québec (Canada) under adapted operating policies in a climate change context ». *Water Resources Management*, 24, 1333–1352. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11269-009-9500-8>>
- Mitchell, B., Priddle, C., Shrubsole, D., Veale, B. et Walters, D. (2014). « Integrated water resource management: lessons from conservation authorities in Ontario, Canada ». *International Journal of Water Resources Development*, 30(3), 460–474. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07900627.2013.876328>>
- Mitchell, B. (2017). « The Hydrological and Policy Contexts for Water in Canada » dans *Water Policy and Governance in Canada*, S. Renzetti et D. Dupont (éd.). Global Issues in Water Policy Series, 17, 13–28. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Moncrieff-Gould, G., Quigley, K. et Burns, C. (2018). « Strengthening the resilience of the Canadian water sector: Final report ». MacEachen Institute for Public Policy and Governance. Université Dalhousie, Halifax, Nouvelle-Écosse. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://rdmug.ca/wp-content/uploads/2018/07/REPORT-Strengthening-the-Resilience-of-the-Canadian-Water-Sector.pdf>>
- Moody, P. et Brown, C. (2012). « Modeling stakeholder-defined climate risk on the Upper Great Lakes ». *Water Resources Research*, 48. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2012WR012497>>
- Moore, M.-L., von der Porten, S., Plummer, R., Brandes, O. et Baird, J. (2014). « Water policy reform and innovation: A systematic review ». *Environmental Science & Policy*, 38, 263–271. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.01.007>>
- Morris, M. et de Loë, R. (2016). « Cooperative and adaptive transboundary water governance in Canada's Mackenzie River Basin: status and prospects ». *Ecology and Society*, 21(1), 26. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.5751/ES-08301-210126>>
- Morrison, A., Noble, B.F. et Westbrook, C.J. (2018). « Flood risk management in the Canadian Prairie provinces: Defaulting towards flood resistance and recovery versus resilience ». *Canadian Water Resources Journal*, 43(11), 33–46. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07011784.2018.1428501>>
- Mortsch, L., Cohen, S. et Koshida, G. (2015). « Climate and water availability indicators in Canada: Challenges and a way forward. Part II – Historic trends ». *Canadian Water Resources Journal*, 40, 146–159. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1080/07011784.2015.1006024>>
- Mortsch, L., Ingram, I., Hebb, A. et Doka, S. (éd.) (2006). « Great Lakes Coastal Wetland Communities: Vulnerabilities to Climate Change and Response to adaptation strategies ». Rapport final présenté au Programme Programme sur les impacts et l'adaptation liés au changement climatique, Ressources naturelles Canada Canada. Environnement Canada et le ministère des Pêches et des Océans, Toronto, Ontario. Consulté en juin 2020 sur le site <https://glsclcities.org/wp-content/uploads/2015/09/Great_Lakes_Coastal_Wetland_Communities_-_Vulnerabilities_to_Climate_Change_and_Response_to_Adaptation_Strategies_2006_1.pdf>
- Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H. et Osman, H. (2018). « Combating Canada's Rising Flood Costs: Natural infrastructure is an underutilized option ». Préparé pour le Bureau d'assurance du Canada par le Centre Intact d'adaptation aux changements climatiques. Université de Waterloo. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://assets.abc.ca/Documents/Resources/IBC-Natural-Infrastructure-Report-2018.pdf>>
- Murphy, D.D. et Weiland, P. (2014). « Science and structured decision making: Fulfilling the promise of adaptive management for imperiled species ». *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13412-014-0165-0>>
- Music, B., Frigon, A., Lofgren, B., Turcotte, R. et Cyr, J.-F. (2015). « Present and future Laurentian Great Lakes hydroclimatic conditions as simulated by regional climate models with an emphasis on Lake Michigan-Huron ». *Climatic Change*, 130, 603–618. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-015-1348-8>>
- Nations Unies (2015). « Water and Climate Change Adaptation in Transboundary Basins: Lessons Learned and Good Practices ». Préparé par la Commission économique pour l'Europe (CEE) et le Réseau international d'organisations de bassins (RIOB), 106 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_Good_practices/ece.mp.wat.45.pdf>
- Nesbitt, L. (2010). « Assessment of the Vulnerability of Tsiigehtchic's Water and Wastewater Systems to Climate Change Impacts ». Préparé par Ecology North, 25 p.
- Nodelcorp Consulting (2014). « Review and Analysis of Climate Change Vulnerability Assessments of Canadian Water Management and Drainage Infrastructure ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.th.gov.bc.ca/climate_action/documents/hwy_Risk_Assessments_from_Climate_Changes_Review.pdf>
- Northwest Hydraulic Consultants Ltd. (2014). « City of Vancouver Coastal Flood Risk Assessment ». Préparé pour la Ville de Vancouver, 117 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://vancouver.ca/files/cov/CFRA-Phase-1-Final_Report.pdf>
- Notaro, M., Bennington, V. et Lofgren, B. (2015). « Dynamical Downscaling-Based Projections of Great Lakes Water Levels ». *Journal of Climate*, 28, 9721–9745. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00847.1>>

- Office de protection de la nature de Toronto et de la région (2019). Flood Forecasting and Warning Centre. Consulté en juin 2020 sur le site <https://trca.ca/app/uploads/trca_flood/57262.pdf>
- Okanagan River Basin Board (2010). « From Rain to Resource: Managing Stormwater in a Changing Climate ». Un rapport sur l'atelier et le salon professionnel de 28 et 29 octobre 2010. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.obwb.ca/fileadmin/docs/rain_to_resource/Rain_to_Resource_2010_Report.pdf>
- Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources (2011). « Watershed Adaptation in Ontario: Conservation Authority Perspectives Final Report ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.climateontario.ca/doc/workshop/2011FebMarch/FinalReport/Watershed%20Adaptation%20in%20Ontario%20-%20Conservation%20Authority%20Perspectives%20-%20Final%20Report.pdf>>
- Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources (2012). « A Climate Adaptation Strategy for the Lake Simcoe Watershed: The planning process ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.climateontario.ca/doc/casestudies/LakeSimcoe/ClimateChangeAdaptationStrategy-CaseStudy.pdf>>
- O'Neill, B.H. and Burn, C.R. (2017). « Impacts of variations in snow cover on permafrost stability, including simulated snow management, Dempster Highway, Peel Plateau, Northwest Territories. NRC Research Press ». *Arctic Science*, 3(2), 150–178.
- Orihel, D.M., Baulch, H.M., Casson, N.J., North, R.L., Parsons, C.T., Seckar, D.C.M. et Venkiteswaran, J.J. (2017). « Internal phosphorus loading in Canadian fresh waters: a critical review and data analysis ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74(12), 2005–2029. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0500>>
- Ormiston, S. et Shelton, M. (2019). « How climate change is thawing the 'glue that holds the northern landscape together ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/north/the-national-permafrost-thaw-inuvik-tuktoyaktuk-1.5179842>>
- Oulahan, G., Klein, Y., Mortsch, L., O'Connell, E. et Harford, D. (2018). « Barriers and Drivers of Planning for Climate Change Adaptation across Three Levels of Government in Canada ». *Planning Theory & Practice*, 19(3), 405–421. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/14649357.2018.1481993>>
- Pahl-Wostl, C. (2008). « Requirements for Adaptive Water Management » dans *Adaptive and Integrated Water Management*, C. Pahl-Wostl, P. Kabat et J. Möltgen (éd.). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Panel on Adaptive Management for Resource Stewardship (2004). « Adaptive Management for Water Resource Project planning ». National Research Council. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/10972>>
- Paré, E. (2014). « City of Nelson Stormwater Infrastructure Assessment ». Préparé par Focus Corporation pour la Ville de Nelson, 44 p.
- Paterson, A.M., Rühland, K.M., Anstey, C.V. et Smol, J.P. (2017). « Climate as a driver of increasing algal production in Lake of the Woods, Ontario, Canada ». *Lake and Reservoir Management*, 33(4), 403–414. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/10402381.2017.1379574>>
- Patino, L. (2010). Étude de l'adaptation et de la capacité d'adaptation aux changements climatiques : Rapport de synthèse. Projet du PRP, Développement durable. Ressources naturelles Canada, gouvernement du Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2010/policyresearch/PH4-68-2010-fra.pdf>
- Perdeaux, S., Nunn, J.A. et Delaney, F. (2018). « Approaches for Conducting Vulnerability Assessments in the Great Lakes Basin: A Review of the Literature ». Rapport présenté pour fournir des commentaires sur l'annexe 9 sur les répercussions des changements climatiques dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://binational.net/wp-content/uploads/2018/11/VAReport-Final.pdf>>
- Phillips, D. (2017). Les dix événements météorologiques les plus marquants au Canada en 2013. Environnement et Changement climatique Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=5BA5EAF-C1&offset=2&toc=hide>>
- Pidgeon, N. (2012). « Public understanding of, and attitudes to, climate change: UK and international perspectives and policy ». *Climate Policy*, 12, S85–S106. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/14693062.2012.702982>>
- Plummer, R., de Loë, R. et Armitage, D. (2012). « A systematic review of water vulnerability assessment tools ». *Water Resources Management*, 26(15), 4327–4346. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11269-012-0147-5>>
- Poitras, J. (2019). « Is climate change causing the recent floods along the St. John River? ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/new-brunswick/future-floods-new-brunswick-climate-change-1.5134035#>>
- Poulin, A., Brissette, F., Leconte, R., Arsenault, R. et Malo, J.S. (2011). « Uncertainty of hydrological modelling in climate change impact studies in a Canadian, snow-dominated river basin ». *Journal of Hydrology*, 409, 626–636. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.057>>
- Razavi, S. et Gupta, H. (2016). « A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 1. Theory ». *Water Resources Research*, 52, 423–439. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2015WR017558>>

- Real Estate Foundation of British Columbia (2018). « 2018 BC Freshwater Public Opinion Insights Topline Report: Results of a public opinion survey conducted June 11-21st, 2018 ». Sondage mené par McAllister Opinion Research. Consulté en juin 2020 sur le site <https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/freshwateralliance/pages/2377/attachments/original/1537895583/2018_water_polling_toplines_S25.pdf?1537895583>
- Reily, D. (2004). « Barrie Water Conservation Program. Tools of Change ». Consulté en février 2019 sur le site <<http://www.toolsofchange.com/en/case-studies/detail/103>>
- Renzetti, S. et Dupont, D. (éd.) (2017). « Water Policy and Governance in Canada ». Global Issues in Water Policy Series, 17. Springer International Publishing, Cham, Suisse.
- Réseau canadien de l'eau (2019). Utiliser de meilleures données pour cerner les vulnérabilités des infrastructures liées aux changements climatiques dans les collectivités canadiennes. Études de cas. En partenariat avec la Fédération canadienne des municipalités. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://cwn-rce.ca/wp-content/uploads/%C3%89tudes-de-cas-Utiliser-de-meilleures-donn%C3%A9es-pour-cerner-les-vuln%C3%A9abilit%C3%A9s-des-infrastructures-li%C3%A9es-aux-changements-climatiques.pdf>>
- Réseau Impact Recherche Canada (2018). Mobilisation des recherches. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://researchimpact.ca/fr/mobilisation-des-connaissances/>>
- Ressources naturelles Canada (2018). Cadre fédéral de la cartographie des plaines inondables. Consulté en juin 2020 sur le site <https://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_rncan/publications/STPublications_PublicationsST/308/308129/gip_112_v2_0_fr.pdf>
- Ressources naturelles Canada et Sécurité publique Canada (2018). Études de cas sur les changements climatiques dans la cartographie des plaines inondables, volume 1, dans la Série « Guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des plaines inondables », 101 p. Gouvernement du Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4095/306437>>
- Rouillard, J.J. et Spray, C.J. (2017). « Working across scales in integrated catchment management: lessons learned for adaptive water governance from regional experiences ». *Regional Environmental Change*, 17(7), 1869–1880. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-016-0988-1>>
- Roy, D. (2013). « Adaptive Policy Analysis of Saskatchewan's 25-year Water Security Plan ». Préparé par l'Institut international du développement durable pour la Division des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique, Ressources naturelles Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/adaptool_saskatchewan_water.pdf>
- Salerno, F. (2017). « Adaptation Strategies for Water Resources: Criteria for Research ». *CNR IRSA Water2017*, 9(10), 805. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/w9100805>>
- Sandford, B., Neilson-Welch, L., Morton, C., Robinson, J., Ord, A. et Martens, L. (2011). « Climate Change Adaptation and Water Governance: Background Report ». Préparé par Adaptation to Climate Change Team (ACT). Consulté en juin 2020 sur le site <<http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2011/06/09-11-Water-Background-Report-WEB.pdf>>
- Sauchyn, D.J., St-Jacques, J.M., Barrow, E., Nemeth, M.W., Macdonald, R.J., Sheer, A.M.S. et Sheer, D.P. (2016). « Adaptive Water Resource Planning in the South Saskatchewan River Basin: Use of Scenarios of Hydroclimatic Variability and Extremes ». *Journal of the American Water Resources Association*, 52, 222–240. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/1752-1688.12378>>
- Scott, P., Tayler, B. et Walters, D. (2017). « Lessons from implementing integrated water resource management: a case study of the North Bay-Mattawa Conservation Authority, Ontario ». *International Journal of Water Resources Development*, 33(3), 393–407. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1216830>>
- Sécurité publique du Canada (2011). Un cadre de sécurité civile pour le Canada, deuxième édition. Préparé par la Direction générale des politiques de gestion d'urgence, Sécurité publique du Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/mrgnc-mngmnt-frmwrk/mrgnc-mngmnt-frmwrk-fra.pdf>
- Sécurité publique du Canada (2018). Stratégie nationale d'atténuation des catastrophes du Canada. Préparé par le ministère de la Sécurité publique du Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/mtgtn-strty/index-fr.aspx>>
- Sécurité publique du Canada (s.d.). Base de données canadienne sur les catastrophes. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/cndn-dsstr-dtbs/index-fr.aspx>>
- Semenza, J.C., Ploubidis, G.B. et George, L.A. (2011). « Climate change and climate variability: personal motivation for adaptation and mitigation ». *Environmental Health*, 10, 46. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-46>>
- Service hydrographique du Canada (2019). Niveaux de l'eau moyens mensuels historiques. Pêches et Océans Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.tides.gc.ca/C&A/network_means-fra.html>
- Sherrin, K. et Verstraten, C. (2013). « What Can Photo-Elicitation Tell Us About How Maritime Farmers Perceive Wetlands as Climate Changes? » *Wetlands*, 33, 65–81. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13157-012-0352-2>>

- Shrestha, R.R., Schnorbus, M.A., Werner, A.T. et Berland, A.J. (2012). « Modelling spatial and temporal variability of hydrologic impacts of climate change in the Fraser River basin, British Columbia, Canada ». *Hydrological Processes*, 26, 1841–1861. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/hyp.9283>>
- Sills, D., Ashton, A., Knott, S., Boodoo, S., Klaassen, J., Bélair, S., et Yang, H. (2016). « *A Billion Dollar Flash Flood in Toronto - Challenges for Forecasting and Nowcasting* ». [Papier de conférence] 28th AMS Conference on Severe Local Storms, Portland, Oregon. Consulté en février 2021 sur le site <www.researchgate.net/publication/311645033_A_Billion_Dollar_Flash_Flood_in_Toronto_-_Challenges_for_Forecasting_and_Nowcasting>
- Simms, G. et de Loë, R.C. (2010). « Challenges for Water Governance in Canada: A Discussion Paper Governance for Source Water Protection in Canada. Governance for Source Water Protection in Canada Report No. 2, 1–24 ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://uwaterloo.ca/water-policy-and-governance-group/sites/ca.water-policy-and-governance-group/files/uploads/files/simms_and_deloe_2010.pdf>
- Simonovic, S.P. (2017). « Bringing Future Climatic Change into Water Resources Management Practice Today ». *Water Resources Management*, 31, 2933–2950. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11269-017-1704-8>>
- Smith, R., Bass, B., Sawyer, D., Depew, D. et Watson, S. (2019). « Estimating the economic costs of algal blooms in the Canadian Lake Erie Basin ». *Harmful Algae*, 87, 101624. <<https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101624>>
- Southern Chiefs Organization Inc. (2018). « 2017–2018 Annual Report, Chiefs-in-Summit ». Première Nation d'Ebb and Flow. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://scoinc.mb.ca/wp-content/uploads/2019/09/SCO-Annual-Report-Final.pdf>>
- Stakhiv, E., Sciremammano, F., Snyder, J., Barletta, D., Cleary, L. et Lussier, M. (2006). « Options for Managing Lake Ontario and St. Lawrence River Water Levels and Flows ». Rapport final du Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent pour la Commission mixte internationale, 146 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://silo.tips/download/report-main-e-6kb>>
- Stanley, M., Puzyreva, M. et Roy, D. (2019). « Advancing Natural Infrastructure in Canada: A forum report. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/advancing-natural-infrastructure-canada.pdf>>
- Statistique Canada (2017). L'activité humaine et l'environnement 2016 : L'eau douce au Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-201-x/16-201-x2017000-fra.htm>>
- Stevenson, L. (2018). « New law aims to protect wetlands, lakes, rivers. Manitoba Co-operator ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.manitobacooperator.ca/news-opinion/news/new-law-aims-to-protect-wetlands-lakes-rivers/>>
- Stone, D. (2002). « Policy Paradox: The Art of Political Decision Making, Revised Edition ». W.W. Norton & Company, New York, New York.
- Straith, D., Adamowski, J. et Reilly, K. (2014). « Exploring the behavioral attributes, strategies and contextual knowledge of champions of change in the Canadian water sector ». *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 39(3), 255–269. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07011784.2014.942576>>
- Stratton, E. (2005). « Local Involvement in Water Management and Adaptive Capacity in the Oldman River Basin, Alberta ». Mémoire de maîtrise, Université de Guelph.
- Szeto K., J. Brimelow J., Gysbers, P. et Stewart, R. (2015). « The 2014 Extreme Flood on the Southeastern Canadian Prairies ». Supplément spécial au Bulletin of the American Meteorological Society, 96(12), 20–24. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00110.1>>
- Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (2010). Courant de changement : La pérennité de l'eau et des secteurs des ressources naturelles du Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://nrt-trn.ca/wp-content/uploads/2011/08/courant-de-changement-rapport-eau-fra.pdf>>
- Taranu, Z.E., Gregory-Eaves, I., Leavitt, P.R., Bunting, L., Buchaca, T., Catalan, J. et Vinebrooke, R.D. (2015). « Acceleration of cyanobacterial dominance in north temperate-subarctic lakes during the Anthropocene ». *Ecology Letters*, 18(4), 375–384. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/ele.12420>>
- Telfer, L. et Droitsch, D. (2011). « The Canadian Waterscape: assessing the needs of Canada's water leaders ». Walter and Duncan Gordon Foundation. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.deslibris.ca/ID/231388>>
- Teufel, B., Diro, G.T., Whan, K., Milrad, S.M., Jeong, D.I., Ganji, A. et Sushama, L. (2017). « Investigation of the 2013 Alberta flood from weather and climate perspectives ». *Climate Dynamics*, 48(9), 2881–2899. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00382-016-3239-8>>
- Teufel, B., Sushama, L., Huziy, O., Diro, G.T., Jeong, D.I., Winger, K., Garnaud, C., de Elia, R., Zwiers, F.W., Matthews, H.D. et Nguyen, V.T.V. (2019). « Investigation of the mechanisms leading to the 2017 Montreal flood ». *Climate Dynamics*, 52, 4193–4296. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00382-018-4375-0>>

- Thistlethwaite, J. et Henstra, D. (2017). « Municipal flood risk sharing in Canada: A policy instrument analysis ». *Canadian Water Resources Journal*, 42, 349–363. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/07011784.2017.1364144>>
- Thistlethwaite, J., Henstra, D., Peddle, S. et Scott, D. (2017). « Canadian voices on changing flood risk: Findings from a national survey ». Faculté de l'environnement, Université de Waterloo, Ontario, 1–8. Consulté en juin 2020 sur le site <https://uwaterloo.ca/climate-centre/sites/ca.climate-centre/files/uploads/files/canadian_voices_on_changing_flood_risk_fnl.pdf>
- Thompson, S. (2015). « Flooding of First Nations and Environmental Justice in Manitoba: Case Studies of the Impacts of the 2011 Flood and Hydro Development in Manitoba ». *Manitoba Law Journal*, 38(2), 220–259. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://ecohealthcircle.com/wp-content/uploads/2017/02/Flooding-of-First-Nations-and-Environmental-Justice-in-Manitoba.pdf>>
- Thomson Agri-Environmental (2011a). « Vulnerabilities & Adaptations to Extreme Climatic Variability: North Saskatchewan River Watershed. An analysis of socio-economic vulnerabilities to drought and excessive moisture events in the North Saskatchewan River Watershed ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.prairiesrac.com/wp-content/uploads/2018/07/Vulnerabilities-and-Adaptations-to-Extreme-Climatic-Variability-North-Saskatchewan-River-Watershed.pdf>>
- Thomson Agri-Environmental (2011b). « Vulnerabilities & Adaptations to Extreme Climatic Variability: Old Wives Lake Watershed. An analysis of socio-economic vulnerabilities to drought and excessive moisture events in the Old Wives Lake Watershed ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.prairiesrac.com/wp-content/uploads/2018/07/Vulnerabilities-and-Adaptations-to-Extreme-Climatic-Variability-in-the-Old-Wives-Lake-Watershed.pdf>>
- Tremblay, H. (2016). La gestion des conflits d'usage relatif aux ressources en eau par le droit dans un contexte de variabilité hydrologique. Centre de recherche en droit public, Faculté de droit, Université de Montréal, Montréal, Québec, 26 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportTremblay2016.pdf>>
- Tsatsaros, J.H., Wellman, J.L., Bohnet, I.C., Brodie, J.E. et Valentine, P. (2018). « Indigenous Water Governance in Australia: Comparisons with the United States and Canada ». *Water*, 10, 1639. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/w10111639>>
- Tu, C., Milner, G., Lawrie, D., Shrestha, N. et Hazen, S. (2017). « Natural Systems Vulnerability to Climate Change in Peel Region ». Rapport technique. Office de protection de la nature de Toronto et de la région, Toronto, Ontario. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://climateconnections.ca/app/uploads/2012/03/Final-Natural-Systems-VA.pdf>>
- Wall, E. et Marzall, K. (2006). « Adaptive capacity for climate change in Canadian rural communities ». *Local Environment*, 11, 373–397. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13549830600785506>>
- Wandel, J., Pittman, J. et Prado, S. (2010). « Rural vulnerability to climate change in the South Saskatchewan River Basin » dans *The New Normal: The Canadian Prairies in a Changing Climate*, D. Sauchyn, H. Diaz et S. Kulshreshtha (éd.). Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina, Saskatoon, 245–258.
- Wang, J. et Strong, K. (2019). Feux de forêt en Colombie-Britannique, 2018. Statistique Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-508-x/16-508-x2019002-fra.htm>>
- Watt, W.E. (1995). « The National Flood Damage Reduction Program: 1976–1995 ». *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 20, 237–247. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4296/cwrj2004237>>
- Weber, B. (2018). « Almost every part of Canada's largest national park deteriorating: federal study ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/wood-buffalo-national-park-deteriorating-study-1.4747721>>
- Weikle, B. (2017). « Climate change causes glacial river in Yukon to change direction ». CBC News. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/technology/climate-change-yukon-river-piracy-1.4070153>>
- Weiss, L., Thé, J., Winter, J. et Gharabaghi, B. (2018). « Optimizing best management practices to control anthropogenic sources of atmospheric phosphorus deposition to inland lakes ». *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68(10), 1025–1037. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1463929>>
- Westbrook and Ecogestion (2020). « Action Plan to Protect the Great Lakes and St. Lawrence 2020–2030: Implementing Innovations in Science and in Governance. The Great Lakes and St. Lawrence Collaborative ». Préparé par Westbrook Public Affairs et Écogestion Solutions. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.glfc.org/pubs/pdfs/2020%20Great%20Lakes%20and%20St.%20Lawrence%20Collaborative-ENG-Web.pdf>>
- Whateley, S., Steinschneider, S. et Brown, C. (2016). « Selecting Stochastic Climate Realizations to Efficiently Explore a Wide Range of Climate Risk to Water Resource Systems ». *Journal of Water Resource Planning and Management*, 142(2), 6016002. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000631](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000631)>
- Wheaton, E., Kulshreshtha, S., Wittrock, V. et Koshida, G. (2008). « Dry Times: Hard Lessons from the Canadian Drought of 2001–2002 ». *The Canadian Geographer*, 52(2), 241–262. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2008.00211.x>>

- White, D.D., Withycombe Keeler, L., Wiek, A. et Larson, K.L. (2015). « Envisioning the Future of Water Governance: A Survey of Central Arizona Water Decision Makers ». *Environmental Practice*, 17(1), 25–35. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S1466046614000489>>
- Wiek, A., Keeler, L.W., Schweizer, V. et Lang, D.J. (2015). « Plausibility indications in future scenarios ». *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 9, 133–147. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1504/ijfip.2013.058611>>
- Williams, B.K. et Brown, E.D. (2014). « Adaptive Management: From More Talk to Real Action ». *Environmental Management*, 53, 465–479. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00267-013-0205-7>>
- Willox, C.A., Harper, S.L., Edge, V.L., Landman, K., Houle, K. et Ford, J.D. (2013). « The land enriches the soul: On climatic and environmental change, affect, and emotional health and well-being in Rigolet, Nunatsiavut, Canada ». *Emotion, Space and Society*, 6, 14–24. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.emospa.2011.08.005>>
- Wittrock, V., Halliday, R.A., Corkal, D.R., Johnston, M., Wheaton, E., Lettvenuk, J., Stewart, I., Bonsal B. et Geremia, M. (2018). « Saskatchewan Flood and Natural Hazard Risk Assessment ». Préparé par le Conseil de recherche de la Saskatchewan pour le ministère des Relations gouvernementales de la Saskatchewan. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://publications.gov.sk.ca/documents/313/109701-109701-SK-FloodandNaturalHazardRiskAssessment.pdf>>
- Wood, M.D., Thorne, S., Butte, G., Linkov, I. et Kovacs, D. (2017). « Adaptive Management for Climate Change » dans *Mental Modeling Approach. Risk, Systems and Decisions*. Springer, New York, New York. Consulté en juin 2020 sur le site <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6616-5_5>
- Woodruff, S.C. (2016). « Planning for an unknowable future: Uncertainty in climate change adaptation planning ». *Climatic Change*, 139, 445–459. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1822-y>>
- World Wildlife Fund (2017). « A National Assessment of Canada's Freshwater (Watershed Reports) ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://wwf.ca/wp-content/uploads/2020/08/WWF-Watershed-Reports-Summit-FINAL.pdf>>
- Yates, J., Harris, L., et Wilson, N. (2017). « Multiple ontologies of water: Politics, conflict and implications for governance ». *Environment and Planning D: Society and Space*, 35(5), 797–815. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0263775817700395>>
- Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V.V. (2019). « Comprendre les changements climatiques mondiaux observés », chapitre 2 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 24-73. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2020/06/RCCC-FULLREPORT-FR-FINAL.pdf>>
- Zubrycki, K., Roy, D., Osman, H., Lewtas, K., Gunn, G. et Grosshans, R. (2016). « Large Area Planning in the Nelson–Churchill River Basin (NCRB): Laying a Foundation in Northern Manitoba ». International Institute for Sustainable Development. Canadian Electronic Library/desLibris, Winnipeg, Manitoba, Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.deslibris.ca/ID/10065330>>



CHAPITRE 5

Services écosystémiques

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteure coordonnatrice principale

Michelle Molnar, Fondation David Suzuki

Auteurs principaux

Paige Olmsted, Ph. D., Institute for Resources, Environment and Sustainability, Université de la Colombie-Britannique

Matthew Mitchell, Ph. D., Université de la Colombie-Britannique

Ciara Raudsepp-Hearne, Ph. D., Université McGill

Mark Anielski, Anielski Management inc.

Auteurs collaborateurs

Elizabeth Nelson, Ph. D., Parcs Canada

Ian Hanington, Fondation David Suzuki

Theresa Beer, Fondation David Suzuki

Olga Shuvalova, Fondation David Suzuki

John Sommerville, Ressources naturelles Canada

Meredith Caspell, Ressources naturelles Canada

Citation recommandée

Molnar, M., Olmstead, P., Mitchell, M., Raudsepp-Hearne, C. et Anielski, M. (2021). Services écosystémiques, chapitre 5 dans Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham, gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario)

Table des matières

Messages clés	297
5.1 Introduction	298
5.1.1 Portée et structure du chapitre	298
5.1.2 Contexte canadien	299
5.1.3 Écosystèmes, services écosystémiques et biodiversité	303
5.1.4 Facteurs de changements directs et indirects dans les services écosystémiques	308
5.1.5 Rétroactions, seuils et points de bascule	310
5.2 Les changements climatiques menacent les écosystèmes du Canada et les services qu'ils fournissent	312
5.2.1 Introduction	312
5.2.2 Phénologie	313
5.2.3 Modification des aires de répartition	314
Étude de cas 5.1 : Aborder le problème de l'élévation du niveau de la mer à Boundary Bay (C.-B.) au moyen d'une « digue vivante »	316
5.2.4 Aires protégées et de conservation	316
5.3 Les impacts varieront selon les écosystèmes et les régions du Canada	318
5.3.1 Introduction	318
5.3.2 Les régions nordiques	320
5.3.3 Régions montagneuses	322
5.3.4 Régions forestières	323
Étude de cas 5.2 : Migration assistée du pin à écorce blanche en C.-B. et en Alberta en réponse aux changements climatiques	324
5.3.5 Régions côtières	327
5.3.6 Renforcement de la capacité d'adaptation	328
5.4 Les connaissances autochtones sont essentielles au maintien des écosystèmes	329
5.4.1 Introduction	329
5.4.2 Les principes d'apprentissage autochtones	330
Étude de cas 5.3 : Préserver la culture Tłı̨chʔ face au déclin des populations de caribous de la toundra	331
5.4.3 Cogestion des ressources naturelles et gestion des ressources naturelles par les Autochtones	333



Étude de cas 5.4 : Maintien des écosystèmes et de leurs services grâce aux aires protégées et de conservation autochtones	334
5.5 Les approches d'adaptation fondées sur la nature maximisent les avantages	336
5.5.1 Introduction	336
5.5.2 Approches d'adaptation fondées sur la nature	336
Étude de cas 5.5 : Restauration des marais côtiers et de leurs services écosystémiques à Truro (Nouvelle-Écosse)	339
Étude de cas 5.6 : Promouvoir un aménagement des berges respectueux des écosystèmes grâce au programme Green Shores	341
Étude de cas 5.7 : Lutte contre les îlots de chaleur urbains à Kingston, en Ontario, en augmentant les forêts urbaines	343
Étude de cas 5.8 : Services écosystémiques offerts par la ceinture de verdure de l'Ontario	344
Étude de cas 5.9 : Gestion des actifs naturels municipaux et prestation de services	350
5.6 Aller de l'avant	353
5.6.1 Lacunes dans les connaissances	353
5.6.2 Nouveaux enjeux	354
5.7 Conclusion	356
5.8 Références	358
5.9 Annexe 1	373

Messages clés

Les changements climatiques menacent les écosystèmes du Canada et les services qu'ils fournissent (voir la section 5.2)

Les changements climatiques ont déjà une incidence sur la capacité des écosystèmes du Canada à fournir des services. Les phénomènes météorologiques extrêmes, plus particulièrement les modifications des régimes climatiques saisonniers, interagissent avec d'autres pressions exercées sur les écosystèmes et entraînent toute une série d'impacts. Ceux-ci vont continuer à s'intensifier.

Les impacts varieront selon les écosystèmes et les régions du Canada (voir la section 5.3)

Les réponses des écosystèmes aux changements climatiques varieront selon les régions du Canada. Les régions septentrionales, montagneuses et côtières sont particulièrement vulnérables aux impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques, en raison notamment des possibilités d'adaptation limitées. Le renforcement de la capacité d'adaptation des personnes et des collectivités vivant dans ces régions est essentiel pour maintenir et préserver les services écosystémiques.

Les connaissances autochtones sont essentielles au maintien des écosystèmes (voir la section 5.4)

Les connaissances autochtones sont essentielles au maintien des écosystèmes et des services écosystémiques qu'ils fournissent dans un climat en changement. Les systèmes de connaissances autochtones englobent différents points de vue pour mieux saisir la complexité de l'environnement et proposent des stratégies pour réduire les changements environnementaux, le gérer et s'y adapter d'une manière globale et adaptée au milieu.

Les approches d'adaptation fondées sur la nature maximisent les avantages (voir la section 5.5)

Les approches d'adaptation fondées sur la nature réduisent les risques liés aux changements climatiques pour les collectivités et sont souvent plus rentables et souples que les solutions techniques. Elles offrent également de nombreux avantages connexes du point de vue social, environnemental et économique, et contribuent à renforcer la capacité d'adaptation des collectivités.

5.1 Introduction

Les écosystèmes jouent un rôle important dans le soutien de la société grâce aux biens et services qu'ils fournissent, tels que la nourriture, l'eau potable, la purification de l'air et la régulation du climat. Ils contribuent également à l'atténuation des changements climatiques en séquestrant le carbone de l'atmosphère. Les services fournis par les écosystèmes sont affectés par de multiples facteurs, notamment le changement d'utilisation des terres et la surexploitation, qui peuvent réduire leur capacité à générer des bienfaits à court et à long terme. Étant donné que le climat continue de changer et que les écosystèmes se transforment en réponse aux conditions environnementales changeantes, leur capacité à fournir ces services sera touchée. Le maintien, la restauration et la gestion des écosystèmes dans le but de lutter contre les facteurs de stress climatiques et non climatiques sont des stratégies essentielles pour renforcer leur résistance aux conditions changeantes et réduire ainsi leur vulnérabilité face aux changements climatiques. Compte tenu des liens importants entre les collectivités autochtones et la nature, les connaissances autochtones sont essentielles afin de comprendre comment les changements climatiques affectent les écosystèmes, et dans le but de concevoir et de mettre en œuvre des approches pour leur préservation et leur gestion.

Les écosystèmes jouent également un rôle tampon important en réduisant la gravité des impacts des changements climatiques sur la société, notamment grâce à des services tels que la réduction des inondations et la protection contre les ondes de tempête. De plus en plus, des approches en matière d'adaptation aux changements climatiques fondées sur la nature sont envisagées et adoptées à différents niveaux, puisqu'elles constituent des mesures moins coûteuses (par rapport aux approches techniques) de réduction des risques liés aux changements climatiques, tout en offrant une série d'avantages sociaux et économiques connexes.

5.1.1 Portée et structure du chapitre

Le présent chapitre se penche sur les risques et les impacts complexes que les changements climatiques représentent pour les écosystèmes du Canada et les services qu'ils fournissent, ainsi que les possibilités d'adaptation aux changements climatiques. Il débute par une présentation des concepts, des définitions et des considérations clés. Il traite ensuite des diverses façons dont les changements climatiques affectent actuellement les écosystèmes et des services qu'ils fournissent, ainsi que des effets attendus à l'avenir, à l'aide d'exemples se rapportant à différents types d'écosystèmes dans diverses régions du pays. Il aborde également le rôle des connaissances autochtones dans la compréhension des impacts des changements climatiques sur les écosystèmes et la réponse à ceux-ci. Il se penche ensuite le rôle croissant et la reconnaissance en pleine expansion des approches d'adaptation fondées sur la nature pour réduire les impacts des changements climatiques sur la société. Des études de cas sont présentées tout au long du chapitre afin de fournir des exemples pratiques de l'adaptation dans ce domaine.

Le chapitre se concentre sur quatre messages clés, qui illustrent l'état actuel des connaissances sur les questions prioritaires. Il ne fournit donc pas un résumé complet des impacts des changements climatiques et des facteurs d'adaptation à prendre en compte dans l'ensemble des régions, des écosystèmes et des groupes

Les Canadiens retirent des bienfaits indispensables des services écosystémiques, qui contribuent à la culture, aux économies, aux emplois, à la santé et à d'autres dimensions du bien-être humain. La valeur économique des services écosystémiques au Canada est estimée à au moins 3 600 milliards de dollars par an (IPBES, 2018), soit plus du double du produit intérieur brut (PIB) du pays en 2018. Le Canada est reconnu comme étant l'un des cinq pays qui, ensemble, regroupent 70 % des zones sauvages intactes restantes dans le monde (Watson et coll., 2018), et est considéré comme ayant une plus grande capacité à fournir des services écosystémiques que la moyenne mondiale (IPBES, 2018). On estime que 285,8 millions de tonnes de biomasse (soit les cultures agricoles, le bétail, la volaille, le lait, les produits de l'érable, le miel, les produits forestiers et les produits de la pêche) ont été extraites des écosystèmes terrestres et aquatiques du Canada pour usage humain en 2010 (Statistique Canada, 2013). Bien que le Canada obtienne une cote globale élevée dans le nouvel indice de biodiversité et de services écosystémiques élaboré par le Swiss Re Institute (2020), les écosystèmes de certaines régions du pays pourraient être en déclin, ce qui aurait des impacts sur les services écosystémiques (voir l'encadré 5.1).

Encadré 5.1 : L'indice de biodiversité et de services écosystémiques du Swiss Re Institute

Conscient de l'importance de la contribution de la nature à la qualité de vie et à l'économie, le Swiss Re Institute a récemment lancé un indice de biodiversité et de services écosystémiques (Indice BSE¹), qui regroupe des données provenant de dix catégories, dont l'intégrité des habitats, la qualité de l'air local, la régulation du climat local, le contrôle de l'érosion et la protection des côtes, et ce, à une résolution de 1 km² (voir la figure 5.2). Cette approche permet une analyse localisée de dix catégories de biodiversité et de services écosystémiques, ainsi que des évaluations à l'échelle nationale et régionale. L'indice permet également de mettre en évidence les liens entre les BSE et les secteurs économiques (Gray, 2020).

1 Brevet en instance.

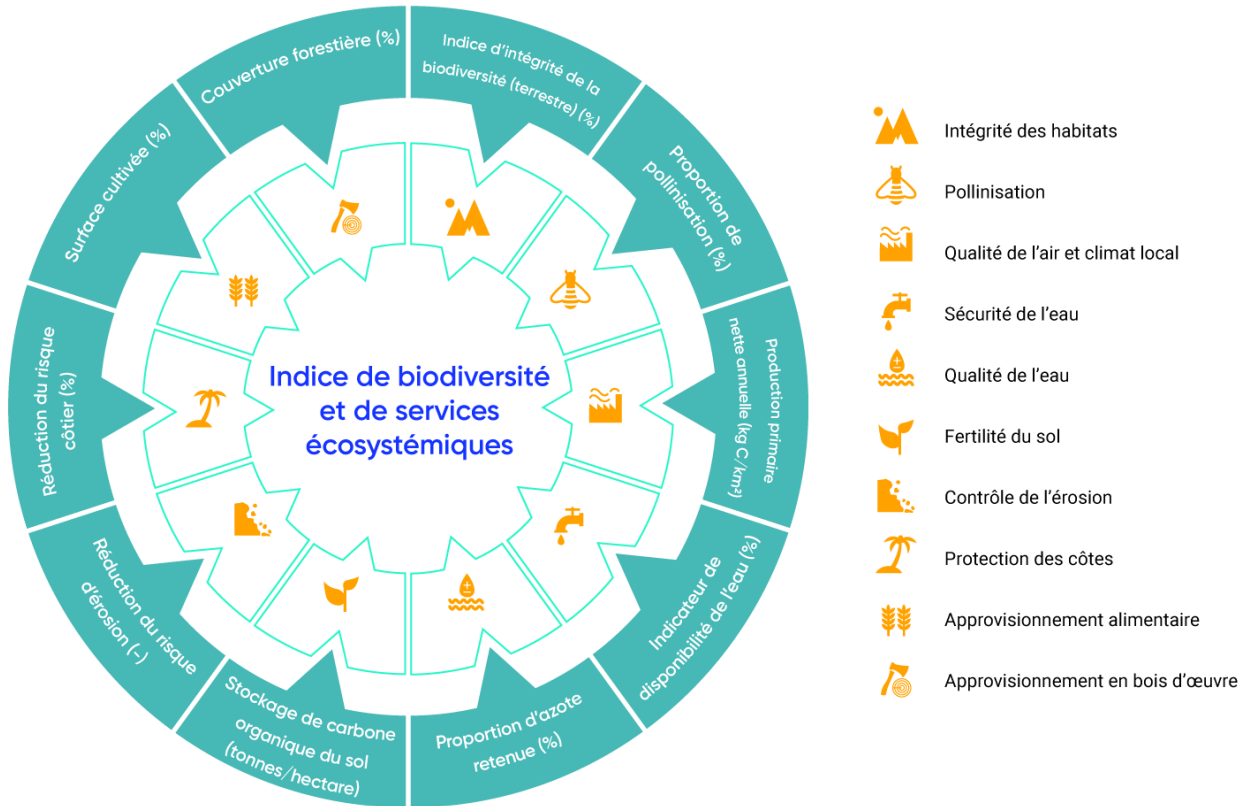
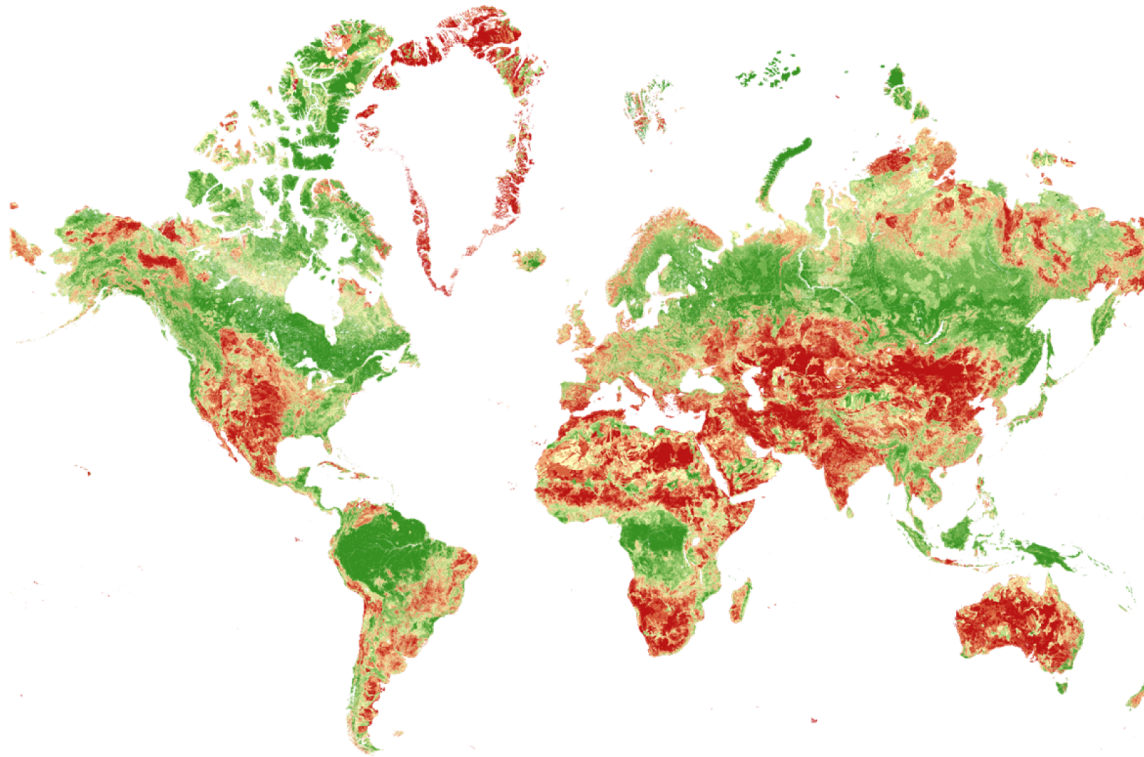


Figure 5.2 : Les dix catégories prises en compte dans le nouvel indice de biodiversité et de services écosystémiques mis au point par le Swiss Re Institute, qui permet d'évaluer l'état de la biodiversité et des services écosystémiques à l'échelle nationale ou régionale. Source : Adapté de Gray, 2020.

Le Swiss Re Institute considère que les sites présentant des indices BSE élevés (c.-à-d. se situant dans le 15^e percentile supérieur à l'échelle mondiale) sont des écosystèmes « intacts », dotés d'une grande capacité à fournir des services écosystémiques. En revanche, les sites présentant des indices BSE faibles (c.-à-d. dans le 15^e percentile inférieur à l'échelle mondiale) sont considérés comme des écosystèmes « fragiles », dont la capacité à fournir des services écosystémiques a été relativement compromise par la perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes. Bien que le Canada ait un indice BSE très élevé dans l'ensemble, certaines régions du pays obtiennent des résultats très faibles (voir la figure 5.3; Retsa et coll., 2020).



Indice de biodiversité et de services écosystémiques (BSE)

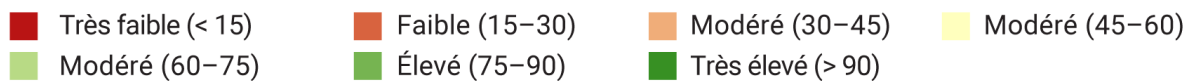


Figure 5.3 : Carte présentant les indices de biodiversité et de services écosystémiques pour différentes régions du monde. Source : Adapté de Gray, 2020.

L'indice BSE peut aider à orienter la prise de décision sur l'utilisation des actifs naturels pour rendre les entreprises et les investissements plus résilients aux impacts des changements climatiques en évaluant l'état de la biodiversité et des services écosystémiques, ainsi que la dépendance de l'activité économique à l'égard de ces services (Retsa et coll., 2020). L'indice BSE peut également être utile pour orienter la prise de décision des gouvernements sur les efforts de restauration et de préservation des écosystèmes, sauvegardant ainsi les services qu'ils fournissent.

La préservation des services écosystémiques face aux changements climatiques et l'application d'approches fondées sur la nature pour s'y adapter, comme nous l'abordons tout au long de ce chapitre, peuvent être des stratégies permettant d'atteindre des objectifs multiples. Par exemple, le Canada a pris une série d'engagements liés aux changements climatiques et aux écosystèmes en tant que signataire de

la Convention sur la diversité biologique, de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, des objectifs de développement durable des Nations Unies et de l'Accord de Paris. De plus, le Canada est l'un des pays qui ont convoqué et soutenu la Commission mondiale sur l'adaptation, et il codirige avec le Mexique le plan d'action des solutions fondées sur la nature. L'établissement de rapports sur les progrès réalisés dans le cadre de ces différents engagements est une exigence fédérale et peut constituer un levier pour mobiliser des efforts coordonnés entre les organismes gouvernementaux et les organisations non gouvernementales qui œuvrent pour atteindre des objectifs similaires.

5.1.3 Écosystèmes, services écosystémiques et biodiversité

Les écosystèmes sont des complexes dynamiques, composés d'organismes vivants (plantes, animaux et microorganismes) et de leur environnement, qui interagissent de multiples façons en tant qu'unité fonctionnelle (Ministre des Approvisionnements et Services, 1995). La diversité biologique, également connue sous le nom de biodiversité, désigne la variabilité des organismes vivants (y compris ceux qui vivent dans les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques) et des complexes écologiques dont ils font partie; cela inclut la diversité au sein des espèces et entre elles, ainsi que la diversité entre les écosystèmes (Convention sur la diversité biologique, 1992). Nantel et coll. (2014) donnent un aperçu des impacts des changements climatiques sur la biodiversité au Canada.

La biodiversité et les écosystèmes produisent un vaste assortiment d'avantages que les gens apprécient et dont ils dépendent, souvent appelés « services écosystémiques » (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, 2005) ou « contributions de la nature aux sociétés » (IPBES, 2018). Parmi les exemples de services écosystémiques, citons la régulation du climat, la régulation de la qualité de l'eau douce et de l'eau côtière, la séquestration du carbone (voir l'encadré 5.2) et la régulation des risques et des phénomènes extrêmes (voir le tableau 5.1; IPBES, 2018). Bien que les services écosystémiques et la biodiversité soient liés, il s'agit là de concepts distincts. Par exemple, la gestion des services écosystémiques peut parfois avoir des effets positifs sur la biodiversité (p. ex. la promotion de services de régulation, comme le contrôle de l'érosion, peut avoir une influence positive sur la biodiversité en sauvant l'habitat), alors que d'autres mesures de gestion peuvent avoir des répercussions négatives sur la biodiversité (p. ex. la sélection d'espèces d'arbres basée uniquement sur l'optimisation de la séquestration du carbone, qui peut entraîner des changements au sein d'un écosystème ayant un effet négatif sur la biodiversité).

Les services écosystémiques sont générés par l'organisation et la structure d'un écosystème, ainsi que par les processus et fonctions écologiques (voir la figure 5.4). Les processus écologiques désignent tout changement ou réaction (physique, chimique ou biologique) qui se produit dans un écosystème, comme la décomposition et le cycle des nutriments (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Les fonctions des écosystèmes, qui constituent un sous-ensemble des interactions entre les structures biophysiques, la biodiversité et les processus écosystémiques, représentent le potentiel ou la capacité d'un écosystème à fournir des services (TEEB, 2010). Par exemple, les terres humides (une structure écosystémique) offrent une forme de régulation (une fonction écosystémique) qui contribue à limiter les impacts négatifs des inondations ou des phénomènes climatiques extrêmes sur les collectivités environnantes (un service écosystémique) (de Groot et coll., 2010a).

Les services écosystémiques peuvent être classifiés de différentes manières, mais trois catégories sont utilisées dans le présent chapitre : 1) les contributions régulatrices (c.-à-d. les aspects fonctionnels et structurels des organismes et des écosystèmes qui peuvent modifier les conditions environnementales telles qu'elles sont perçues par les gens ou qui soutiennent ou régulent les avantages matériels et non matériels); 2) les contributions matérielles (c.-à-d., substances, objets ou autres éléments matériels tirés de la nature qui contribuent à soutenir l'existence physique et l'infrastructure des personnes, et qui sont généralement consommés ou perçus consciemment); et 3) les contributions non matérielles (c.-à-d. les services qui affectent la qualité de vie subjective ou psychologique des personnes, individuellement et collectivement) (voir le tableau 5.1; IPBES, 2018).

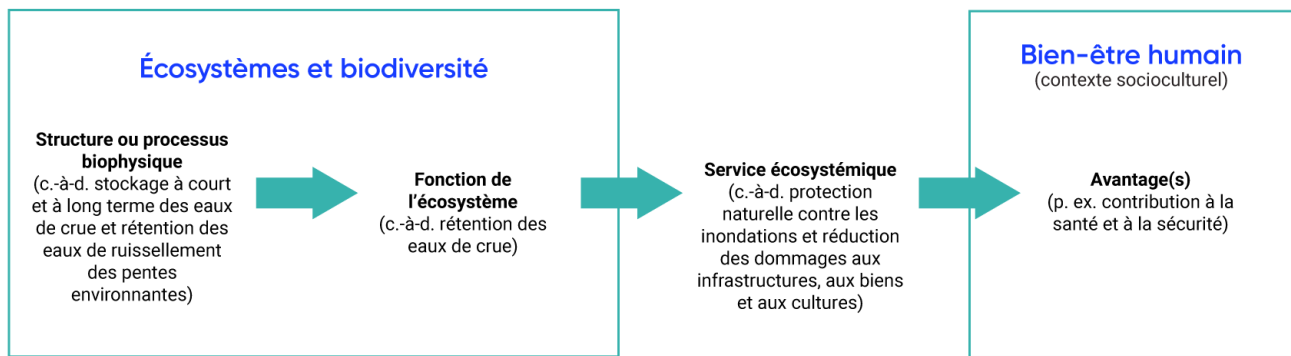


Figure 5.4 : Les interdépendances entre les écosystèmes, la biodiversité, les processus biophysiques, les fonctions des écosystèmes, les services écosystémiques et le bien-être humain. Source : Adapté de de Groot et coll., 2010b.

Tableau 5.1 : Classification des services écosystémiques par la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES)

CLASSIFICATION	SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE	DESCRIPTION
Contributions régulatrices	Création et préservation de l'habitat	Maintenir les structures et les processus écosystémiques qui permettent d'assurer d'autres contributions de la nature aux sociétés.
	Pollinisation et dispersion de graines et autres propagules	Les façons par lesquelles la nature contribue à la productivité des plantes par la fertilisation et la dispersion de graines et d'autres propagules végétatives (IPBES, 2016).
	Régulation de la qualité de l'air	Régulation de l'équilibre CO ₂ /O ₂ , de l'ozone pour l'absorption des ultraviolets B et des gaz polluants.
	Régulation du climat	Régulation de l'albédo, de certains aspects des émissions de gaz à effet de serre et de la séquestration du carbone, entre autres (voir l'encadré 5.2).
	Régulation de l'acidification des océans	Le maintien du pH de l'océan par l'effet tampon des augmentations et des diminutions de l'acide carbonique, causées principalement par l'absorption de CO ₂ par l'océan.
	Régulation de la quantité d'eau douce, de son emplacement et de la répartition des précipitations pendant l'année	Pour les utilisations directes par les personnes et les utilisations indirectes par la biodiversité et les habitats naturels (voir le chapitre « Ressources en eau »).
	Régulation de la qualité des eaux douces et des eaux côtières	Capacité d'écosystèmes terrestres et aquatiques sains à réguler l'approvisionnement en eau et/ou à filtrer et à retenir les nutriments, les sédiments et les agents pathogènes affectant la qualité de l'eau (voir le chapitre « Ressources en eau »).

CLASSIFICATION	SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE	DESCRIPTION
Contributions régulatrices (continué)	Formation, protection et décontamination des sols et des sédiments	Rétention des sédiments et contrôle de l'érosion, genèse du sol et maintien de sa structure, décomposition et cycle des nutriments.
	Régulation des risques naturels et des phénomènes extrêmes	Rôle des écosystèmes préservés dans la réduction des impacts des inondations, des tempêtes, des glissements de terrain, des sécheresses, des vagues de chaleur et des incendies.
	Régulation des organismes nuisibles à la population humaine	Ravageurs, agents pathogènes, prédateurs, compétiteurs, etc.
Contributions matérielles	Énergie	Biocarburants
	Aliments pour consommation humaine et animale	Sources sauvages et domestiques, alimentation du bétail et du poisson d'élevage (voir le chapitre « Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation »).
	Matériaux et assistance	Production de matériaux dérivés d'organismes provenant de cultures ou d'écosystèmes sauvages pour la construction, l'habillement, l'imprimerie ou à des fins décoratives.
	Ressources médicinales, biochimiques et génétiques	Plantes, animaux et microorganismes pouvant être utilisés pour maintenir ou protéger la santé humaine, soit directement, soit par le biais de processus de l'organisme ou de ses dérivés.
Contributions non matérielles	Apprentissage et inspiration	Possibilités offertes par la nature pour le renforcement des capacités qui permettent aux humains de prospérer grâce à l'éducation, à l'acquisition de connaissances et au développement de compétences.
	Expériences physiques et psychologiques	Possibilités d'activités bénéfiques sur le plan physique et psychologique, de guérison, de relaxation, de loisirs, de tourisme et de plaisir esthétique (voir le chapitre « Collectivités rurales et éloignées » et le chapitre « Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation »).

CLASSIFICATION	SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE	DESCRIPTION
Contributions non matérielles (continué)	Soutien des identités	Fondement des expériences religieuses, spirituelles et de cohésion sociale, des récits et des contes, ainsi que du sentiment d'appartenance, du sentiment d'avoir un but précis, d'attachement ou d'interdépendance (voir le chapitre « Collectivités rurales et éloignées »).
	Maintien des options	L'existence continue d'une grande variété d'espèces, de populations et de génotypes pour permettre des découvertes encore inconnues et des utilisations imprévues de la nature, ainsi qu'une évolution continue.

Source : IPBES, 2018.

Encadré 5.2 : Stockage du carbone par les écosystèmes

De nombreux écosystèmes séquestrent et emmagasinent du carbone, contribuant ainsi à réduire l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Au Canada, les sols de la toundra, les forêts, les terres humides et des prairies revêtent une importance particulière pour la séquestration du carbone. Cependant, une fois que les écosystèmes sont perturbés, le carbone emmagasiné, qui peut s'être accumulé depuis des décennies, des siècles ou des millénaires, est libéré dans l'atmosphère (IPBES, 2018). La région de pergélisol nordique contient 1 672 pétagrammes (Pg) de carbone organique, principalement accumulé dans le pergélisol (c.-à-d. le sol ou la roche qui demeurent gelés d'une année à l'autre), ce qui représente environ 50 % de la réserve mondiale de carbone souterrain (Tarnocai et coll., 2009). Cependant, le dégel du pergélisol causé par les changements climatiques augmente la décomposition microbienne du carbone organique, le libérant dans l'atmosphère et déclenchant un processus de rétroaction positive (Schuur et coll., 2008). Les forêts peuvent séquestrer le carbone jusqu'à 800 ans (Luyssaert et coll., 2008). Alors que les forêts boréales, par exemple, séquestrent une immense quantité de carbone, les changements climatiques menacent leur capacité de stockage du carbone (Kurz et coll., 1999). Les terres humides et les tourbières fournissent également des services essentiels liés à la séquestration du carbone, et permettent le stockage d'environ 450 Pg de carbone (Mitsch et Gosselink, 2015; Lal, 2008). Les prairies stockent de grandes quantités de carbone dans la biomasse végétale et le sol, mais l'ampleur du stockage dépend de la manière dont les prairies sont gérées, notamment pour le bétail (Wang et coll., 2014).

5.1.4 Facteurs de changements directs et indirects dans les services écosystémiques

Les écosystèmes et les services qu'ils fournissent sont affectés par une série de facteurs directs et indirects. Les facteurs directs les plus importants de la dégradation des services écosystémiques sont la conversion des habitats, la fragmentation et la surexploitation. Le fait que les changements climatiques exacerbent les impacts des autres facteurs est sur le point de devenir le principal facteur (IPBES, 2018). Les changements climatiques menacent la viabilité et la résilience de certains écosystèmes naturels et des sociétés humaines qui en dépendent (Malhi et coll., 2020). Cependant, les connaissances sont actuellement incomplètes en ce qui concerne les manières complexes dont les écosystèmes et les services qu'ils fournissent sont affectés par les changements climatiques (GIEC, 2019a).

Les changements climatiques affectent la biodiversité et les services écosystémiques de multiples façons. La biodiversité étant essentielle à la résilience et au fonctionnement des écosystèmes, il est important de considérer les services écosystémiques dans le contexte de systèmes de soutien de la vie plus larges lors de l'étude des impacts des changements climatiques, des réponses des écosystèmes, de l'adaptation aux changements climatiques et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) (Groupe de travail sur l'adaptation et la biodiversité, 2018). L'annexe 1 présente un examen plus complet de la manière dont les changements climatiques menacent les différents types de services écosystémiques, des conséquences des impacts des changements climatiques sur le plan social et économique, et de la manière dont nous pouvons exploiter les écosystèmes pour nous adapter aux nouvelles conditions environnementales et réduire les émissions de GES. La figure 5.5 illustre la manière dont les changements climatiques pourraient avoir une incidence sur l'ampleur avec laquelle différents types de facteurs physiques, sociaux et économiques entraîneront des changements dans divers services écosystémiques à l'échelle mondiale d'ici 2050.

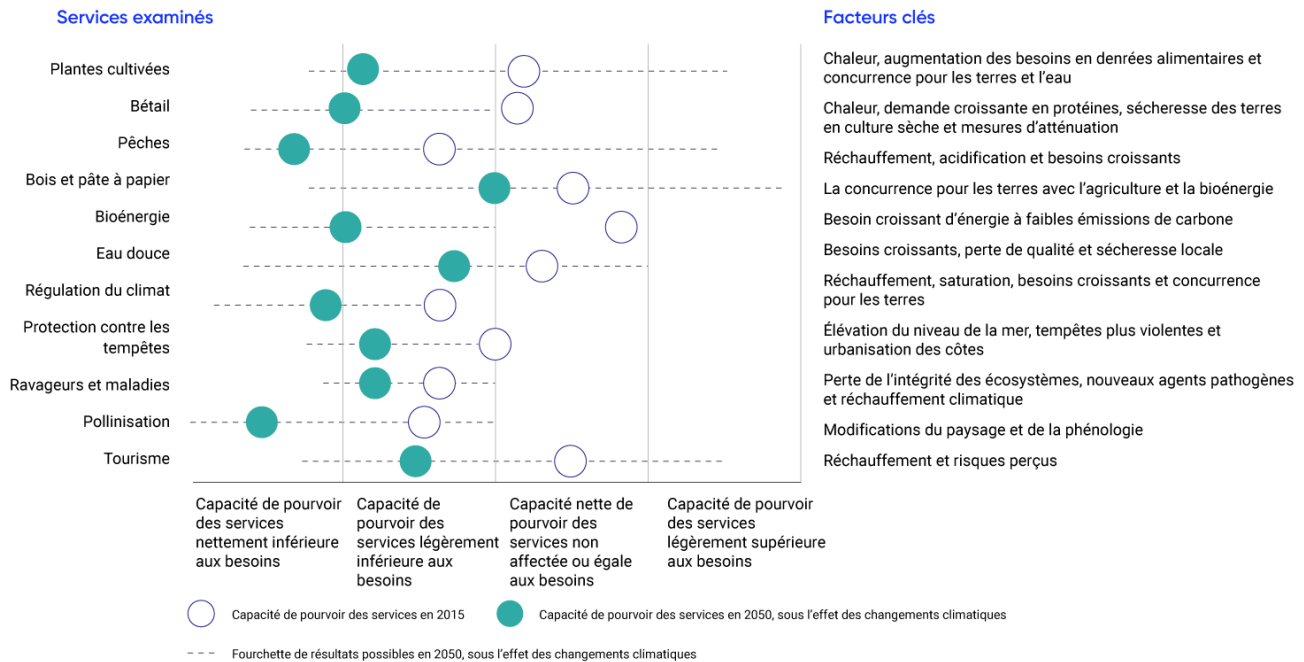


Figure 5.5 : Résumé visuel de la relation entre l'offre et la demande des services écosystémiques étudiés par Scholes (2016), actuellement (cercles vides) et vers 2050 (cercles pleins), dans le contexte des changements climatiques. La fourchette des résultats possibles autour de l'année 2050 est représentée par une barre horizontale. Source : Adapté de Scholes, 2016.

Parmi les autres facteurs de changements dans les écosystèmes figurent les activités humaines telles que le changement d'utilisation des terres, la surexploitation des ressources, la pollution et les modifications de l'équilibre hydrique. À l'échelle mondiale, les infrastructures, les exploitations agricoles, les établissements humains et les réseaux routiers occupent plus de 75 % de la surface habitable de la Terre (Ellis et coll., 2010). Les activités humaines ont également affecté les océans par le biais, par exemple, de l'eutrophisation et de l'appauvrissement des stocks de poissons (Halpern et coll., 2008), ce qui ne laisse qu'une proportion d'environ 13 % de l'océan n'ayant pas subi de répercussions des activités humaines (Jones et coll., 2018).

Les facteurs indirects de changements dans les écosystèmes comprennent les tendances démographiques, les modèles de croissance économique, les faiblesses des systèmes de gouvernance et les inégalités (IPBES, 2018). Le fait de ne pas prendre en compte la valeur économique totale des services écosystémiques dans la prise de décision a été reconnu comme étant un facteur clé contribuant à leur perte et à leur dégradation (Organisation de coopération et de développement économiques, 2019).

5.1.5 Rétroactions, seuils et points de bascule

Il est essentiel de reconnaître que les facteurs de changement, y compris les changements climatiques, n'affectent pas les services écosystémiques de manière linéaire. Les écosystèmes réagissent aux changements climatiques de la manière suivante : 1) des rétroactions qui peuvent limiter, atténuer ou amplifier les impacts sur les écosystèmes et les personnes; 2) des seuils, où un changement ou une perturbation relativement faible (p. ex. un changement de température) dans les conditions extérieures entraîne un changement rapide dans un écosystème; et 3) des points de bascule qui indiquent le seuil au-delà duquel un écosystème passe à un nouvel état, ce qui modifie considérablement la biodiversité et les services écosystémiques.

En ce qui concerne les changements climatiques, une boucle de rétroaction peut accélérer ou ralentir une tendance au réchauffement; il s'agit d'interactions bidirectionnelles entre le climat et les écosystèmes qui amplifient ou atténuent la réponse initiale du climat à des concentrations élevées de GES ou à d'autres facteurs de forçage climatique externes (Kueppers et coll., 2007). Si les impacts des changements climatiques entraînent une accélération du réchauffement, on parle de « rétroaction positive »; s'ils entraînent un ralentissement du réchauffement, en revanche, on parle de « rétroaction négative » (voir la figure 5.6). Un exemple de boucle de rétroaction positive liée aux changements climatiques est la migration vers le nord de la végétation forestière en lien avec le réchauffement climatique, qui réduit l'albédo de la surface terrestre et favorise ainsi un réchauffement supplémentaire (voir la figure 5.7).

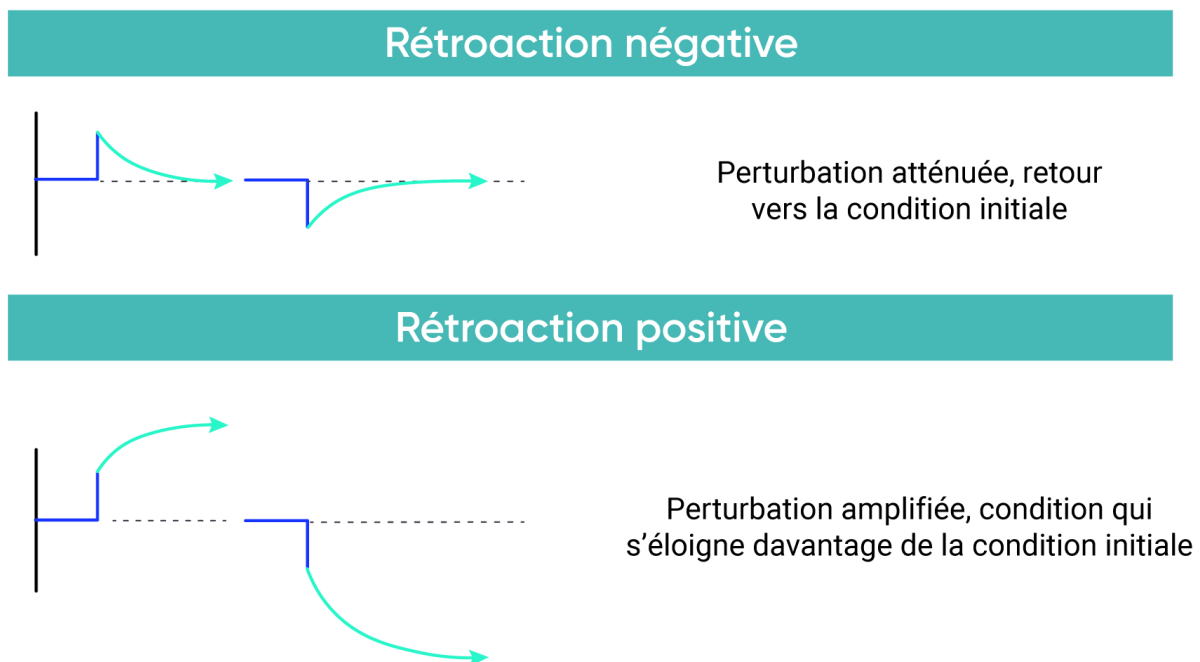


Figure 5.6 : Illustration des boucles de rétroaction positives et négatives liées aux interactions climat-écosystème. Source : Adapté de Kueppers et coll., 2007.

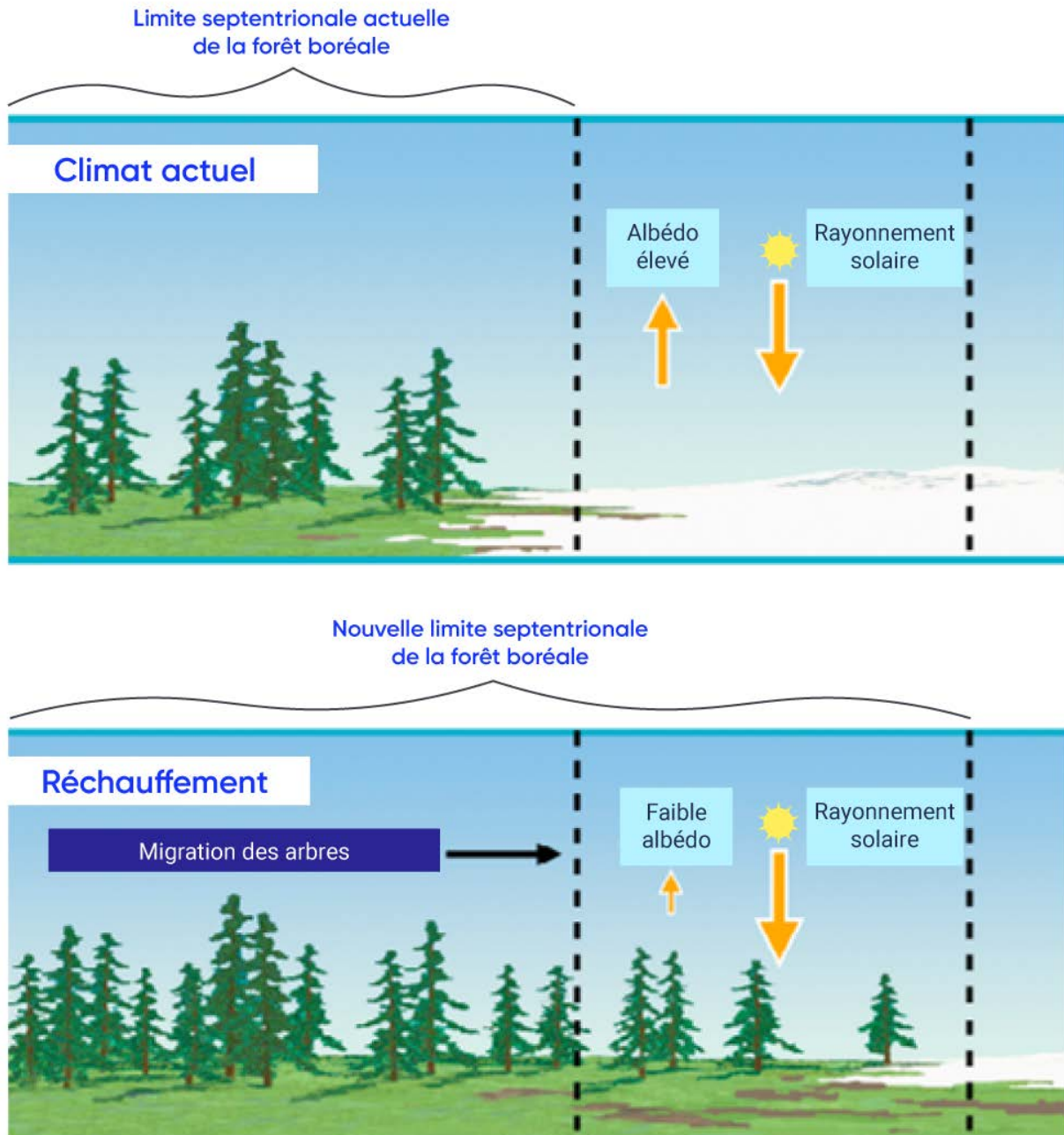


Figure 5.7 : Exemple de boucle de rétroaction positive, où la migration vers le nord de la végétation forestière en raison du réchauffement climatique réduit l'albédo de la surface terrestre, favorisant ainsi un réchauffement supplémentaire (rétroaction positive climat-écosystème). Source : Adapté de Kueppers et coll., 2007.

Les écosystèmes ne sont capables d'amortir la pression que jusqu'à un certain seuil ou point de bascule. Au-delà de ces points, des changements importants et abrupts se produisent dans la structure et la fonction des écosystèmes. Les changements de régime causés par le franchissement de seuils ont tendance à être persistants

et coûteux à inverser (si cela est même possible), et ils peuvent avoir un impact profond sur les services écosystémiques, ainsi que sur le bien-être social et économique (Leadley et coll., 2014; Folke et coll., 2004; Scheffer et coll., 2001). Une meilleure compréhension de la façon dont les changements climatiques affectent les écosystèmes et leurs services, combinée à des efforts de conservation et de maintien des écosystèmes (voir la section 5.2.4), peut contribuer à limiter les impacts négatifs associés aux conditions changeantes.

5.2 Les changements climatiques menacent les écosystèmes du Canada et les services qu'ils fournissent

Les changements climatiques ont déjà une incidence sur la capacité des écosystèmes du Canada à fournir des services. Les phénomènes météorologiques extrêmes, plus particulièrement les modifications des régimes climatiques saisonniers, interagissent avec d'autres pressions exercées sur les écosystèmes et entraînent toute une série d'impacts. Ceux-ci vont continuer à s'intensifier.

Les changements climatiques réduisent déjà la capacité des écosystèmes à fournir des services à long terme, notamment la nourriture, l'eau, la purification de l'air et la régulation du climat. Les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques sont et resteront particulièrement préoccupants, tant aujourd'hui que lorsqu'ils s'intensifieront à l'avenir. Le maintien, la restauration et la gestion des écosystèmes sont des stratégies essentielles pour réduire les impacts des changements climatiques sur les services qu'ils fournissent.

5.2.1 Introduction

Le climat du Canada est en changement et continuera de changer. Les écosystèmes sont sensibles aux changements décrits dans le [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Bush et Lemmen, 2019), notamment la hausse des températures, la modification des régimes de précipitations, l'augmentation des risques d'inondations, de sécheresse et de feux de forêt, ainsi que la disparition de la glace de mer et des glaciers. Ces changements affectent la répartition des espèces et les écosystèmes de plusieurs manières. Tout d'abord, les changements climatiques modifient la croissance des différentes espèces et le moment où se produisent les événements critiques de la vie des espèces végétales et animales, un phénomène connu sous le nom de phénologie (Körner et Basler, 2010; Yang et Rudolf, 2009). Deuxièmement, les espèces déplacent généralement leur répartition géographique vers le nord en réponse aux changements climatiques (Chen et coll., 2011), mais peuvent également se déplacer dans de multiples directions (VanDerWal et coll., 2013), modifiant ainsi la biodiversité des écosystèmes, ainsi que leur composition et leur fonctionnement (Van der Putten et coll., 2010). Troisièmement, l'augmentation de la fréquence des phénomènes

météorologiques extrêmes et des perturbations (p. ex. les vagues de chaleur, les sécheresses, les tempêtes, les incendies, les épidémies de ravageurs et de maladies) qui sont liés aux changements climatiques (Dale et coll., 2001) peut modifier la composition des espèces et le fonctionnement des écosystèmes (Weed et coll., 2013). Les perturbations de certains écosystèmes et de leurs services sont examinées plus en détail à la section 5.3.

Ces impacts liés aux changements climatiques affectent déjà la capacité des écosystèmes à fournir des services, tant de manières négatives que positive et, dans de nombreux cas, leur gravité devrait s'accroître à mesure que le climat continuera de changer au cours des années à venir (Kareiva et coll., 2012). Aux impacts des changements climatiques s'ajoutent des facteurs de stress non climatiques (p. ex. la pollution, la surexploitation et la perte d'habitat) qui réduisent la capacité des espèces et des écosystèmes à fournir des services pour le bien-être humain (Nelson et coll., 2013; Staudt et coll., 2013; Hansen et Hoffman, 2011 a).

5.2.2 Phénologie

Les espèces dépendent d'une série d'indices naturels pour signaler les changements dans leurs cycles de vie, que nous appelons phénologie. Certains de ces indices peuvent être affectés par un climat en changement. Par exemple, des températures plus élevées peuvent inciter les oiseaux migrateurs à arriver plus tôt que d'habitude sur les sites de reproduction, ce qui est problématique si ce dont ils se nourrissent dépend des changements saisonniers et n'est disponible que bien après leur arrivée (Møller et coll., 2008). À l'échelle mondiale, il existe des preuves solides que les impacts des changements climatiques sur la phénologie affectent déjà le moment de la migration et de la reproduction et entraînent des asynchronies entre les espèces en interaction (Cohen et coll., 2018). Nantel et coll. (2014) présentent un résumé des impacts des changements climatiques sur la phénologie observés au Canada. Citons notamment la floraison jusqu'à deux semaines plus tôt des plantes dans les parcs de l'Alberta (Beaubien et Hamann, 2011), la sortie retardée de l'hibernation des spermophiles colombiens dans les Rocheuses (Lane et coll., 2019) et l'allongement des périodes de vol automnal des papillons boréaux, jusqu'à un mois plus longue au Manitoba (Pohl et coll., 2014). Si les espèces peuvent être en mesure d'appliquer des stratégies de réponse adaptative pour faire face aux décalages phénologiques, ces solutions ne sont pas toujours idéales. Par exemple, les macareux moines des Maritimes ont commencé à manger du poisson-papillon au lieu du hareng, ce qui a donné lieu à des rapports faisant état d'une augmentation de la famine chez les juvéniles, le poisson-papillon, plus gros, étant plus difficile à ingérer (Kress et coll., 2016).

Les impacts des changements phénologiques sur l'offre de services écosystémiques n'ont pas été abondamment étudiés au Canada, mais ils pourraient être étendus et considérables. Prenons l'exemple de l'augmentation prévue de l'interaction entre les cycles de vie de la tordeuse orientale des bourgeons de l'épinette et de l'épinette noire, qui peut entraîner une perte de biodiversité et réduire potentiellement l'offre de services écosystémiques (Donnelly et coll., 2011). Un autre exemple est la façon dont les espèces, comme les ours polaires et les phoques, sont affectées négativement par la perte de la glace de mer pour la chasse et la reproduction (Stirling et Derocher, 2012). De plus, les populations de caribous pourraient diminuer en raison de la perte d'importantes quantités de fourrages de lichen dans leur habitat ou de phénomènes météorologiques extrêmes (Joly et coll., 2012; Festa-Bianchet et coll., 2011). Ces exemples pourraient

avoir un impact négatif sur les réseaux alimentaires, notamment en menaçant la sécurité alimentaire des collectivités nordiques (voir l'étude de cas 5.3; Stern et Gaden, 2015) et les loisirs de plein air dans le Nord (Hall et Saarinen, 2010), alors même que les conditions plus chaudes et la perte de glace de mer allongent la saison touristique (Stewart et coll., 2012). Il existe également des preuves que les changements climatiques perturbent les interactions entre les plantes et les pollinisateurs, notamment des études montrant des réponses complexes et inégales des pollinisateurs au réchauffement climatique (Morton et Rafferty, 2017). Les bourdons, par exemple, semblent moins capables de déplacer leurs aires de répartition vers le nord en réponse au réchauffement, ce qui entraîne un rétrécissement des aires de répartition (Kerr et coll., 2015), avec des répercussions sur les nombreuses cultures qu'ils pollinisent.

5.2.3 Modification des aires de répartition

Les écosystèmes et les espèces se déplacent en fonction de l'évolution des conditions climatiques. Les observations, les méta-analyses et les modèles basés sur les lieux indiquent que les changements climatiques ont déjà commencé à modifier l'aire de répartition géographique d'espèces végétales et animales sur terre et dans les systèmes marins (GIEC, 2019a, b; 2014), ce qui a des répercussions sur la composition des écosystèmes et la prestation des services écosystémiques. Les espèces mobiles sont susceptibles de se déplacer sur de plus longues distances (p. ex. les oiseaux, les pollinisateurs). Les changements dans la répartition des espèces d'arbres et la migration vers les pôles des poissons d'eau douce semblent avoir une incidence sur les lieux et les modalités de la récolte du bois et de la pêche en eau douce au Canada (Poesch et coll., 2016; Ste-Marie, 2014).

Des changements dans l'aire de répartition de diverses espèces d'arbres au Canada ont été observés, notamment des migrations vers le nord de l'érable rouge, de l'érable à sucre et du bouleau à papier (Boisvert-Marsh et coll., 2014). Il existe peu d'indices de déplacements vers le sud pour le sapin baumier, l'épinette blanche et l'épinette noire, d'après l'établissement des gaules; toutefois, cela peut être lié aux effets de perturbations naturelles ou d'origine humaine (Boisvert-Marsh et coll., 2014). En milieu nordique, des déplacements vers le nord de la limite forestière subarctique ont été observés (Rees et coll., 2020; Gamache et Payette, 2005), et l'arbustification entraîne un passage irréversible de la toundra à une zone de végétation arbustive (Fraser et coll., 2014, Hill et Henry, 2011; Myers-Smith et coll., 2011). Ces déplacements ont des répercussions sur toute une série de services écosystémiques associés aux forêts, notamment la production de bois, le stockage du carbone (voir l'encadré 5.2), les loisirs de plein air, la disponibilité de nourriture sauvage et la régulation de la qualité de l'eau. Il est probable que les changements dans l'aire de répartition des insectes forestiers (Nantel et coll., 2014) et des ravageurs agricoles (voir le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »; Campbell et coll., 2014) aient également un impact sur ces services, mais de manière souvent imprévisible (Scheffers et coll., 2016), car la nature exacte de ces changements dans l'espace et le temps est incertaine.

De même, des déplacements de l'aire de répartition des espèces de poissons lacustres ont été observés, comme le déplacement vers le nord des espèces de crapet-soleil de 13 km par décennie pour occuper des lacs plus nordiques dans l'est du Canada (Alofs et coll., 2014). L'évolution des conditions océaniques découlant des changements climatiques a entraîné des changements géographiques importants pour

la faune marine, une tendance qui devrait se poursuivre, voire s'accélérer à l'avenir. Avec la hausse des températures océaniques, les espèces marines se déplacent déjà vers les pôles (Palacios-Abrantes et coll., 2020; Poloczanska et coll., 2016) ou vers des eaux plus profondes (Dulvy et coll., 2008) afin de rester dans leur fourchette de température de prédilection. Les mouvements peuvent être temporaires; par exemple, de plus grandes quantités de merlu du Pacifique (merlan) ont migré vers le nord dans les eaux canadiennes durant les épisodes chauds d'El Niño de 1998 et de 2015 (Berger et coll., 2017). Les déplacements sont également associés à des réponses écologiques et à des interactions modifiées du réseau alimentaire, qui augmentent l'incertitude de la productivité des stocks et la vulnérabilité des poissons à la pollution et à l'exploitation (Cheung, 2018; Cheung et coll., 2016). Ces changements de répartition peuvent simultanément entraîner la perte de poissons autochtones (p. ex. la morue arctique) et des occasions pour de nouvelles pêches (Stern et Gaden, 2015). Des tendances similaires avec des effets variables sur les espèces à valeur économique sont attendues pour d'autres régions du Canada, notamment la côte du Pacifique (Okey et coll., 2014) et les Grands Lacs (Collingsworth et coll., 2017).

Parmi les autres changements potentiels aux services écosystémiques causés par les modifications de la répartition des espèces et des écosystèmes, citons la perte de la production de baies dans l'Arctique en raison de l'arbustification (Stern et Gaden, 2015), l'expansion de l'aire de répartition des arbres (Pearson et coll., 2013), l'augmentation des risques de contracter certaines maladies (comme la maladie de Lyme) à mesure que les espèces hôtes (p. ex. la tique du cerf) étendent leur aire de répartition vers le nord (Ogden et coll., 2014; Leighton et coll., 2012), et la réduction de la diversité des pollinisateurs des cultures (Kerr et coll., 2015).

La capacité des écosystèmes et des espèces individuelles à s'adapter aux changements climatiques en déplaçant leur aire de répartition n'est toutefois pas sans limites. Les organismes sont limités dans l'éventail des environnements auxquels ils peuvent s'adapter. Beaucoup d'entre eux ont une capacité de dispersion limitée et n'ont pas toujours accès à un nouvel habitat approprié à coloniser (Lipton et coll., 2018). Dans les régions côtières, les plages, les dunes, les flèches de sable, les îles-barrières et les marais côtiers qui leur sont associés peuvent s'adapter à l'augmentation du niveau de la mer par le biais d'une migration continue vers les terres (Savard et coll., 2016). Dans certains cas, cependant, cette migration est entravée par des infrastructures (telles que des digues) ou par une élévation naturelle des terres (Pontee, 2013). Cela conduit à un rétrécissement de l'espace côtier et peut entraîner la perte de marais côtiers et d'autres écosystèmes précieux (voir l'étude de cas 5.1).

Étude de cas 5.1 : Aborder le problème de l'élévation du niveau de la mer à Boundary Bay (C.-B.) au moyen d'une « digue vivante »

Boundary Bay, situé dans la région métropolitaine de Vancouver sur la côte ouest de la Colombie-Britannique, est un important écosystème marin qui fournit de nombreux services écosystémiques aux collectivités environnantes de Surrey, Delta et White Rock, ainsi qu'à la Première Nation de Semiahmoo. Avec ses 400 hectares de marais salés, la zone fournit un habitat à de nombreuses espèces, y compris les saumons juvéniles, et est reconnue comme étant une zone importante pour les oiseaux de la voie migratoire du Pacifique (IBA Canada, s.d.). Le marais de Boundary Bay assure également la régulation des inondations, en réduisant le niveau d'énergie des vagues qui atteignent les digues côtières installées sur environ 15 km pour protéger les collectivités environnantes et les infrastructures régionales (Carlson, 2020). Toutefois, on prévoit que, d'ici 2100, le marais salé pourrait disparaître en raison du rétrécissement de l'espace côtier (Carlson, 2020). La perte de l'habitat intertidal résulterait de la fixation de la laisse de haute mer par la digue et de la migration de la laisse de basse mer vers les terres en réponse à la hausse du niveau de la mer (Pontee, 2013). Pour éviter que cela ne se produise, la ville de Surrey, la ville de Delta et la Première Nation de Semiahmoo collaborent à l'élaboration d'une solution novatrice.

Le concept de « digue vivante », mené par West Coast Environmental Law, vise à rehausser des zones de l'habitat des marais salés en livrant progressivement des matériaux provenant de marais salés, combiné à la plantation récurrente de végétation caractéristique des marais salés (SNC-Lavalin inc., 2018). En élevant lentement le marais sur une période de 25 à 30 ans, les organismes pourront s'adapter lors de leur migration vers le sud, tandis que le marais continuera de fournir des services écosystémiques comme la protection contre les vagues (SNC-Lavalin inc., 2018). Une table ronde composée de représentants des gouvernements fédéral, provinciaux et locaux, ainsi que de Premières Nations, surveillera et évaluera en permanence les progrès de ce projet pilote (Carlson, 2020).

5.2.4 Aires protégées et de conservation

Les aires protégées et de conservation constituent un élément clé de l'approche du Canada en matière d'adaptation aux changements climatiques et de réduction des émissions de GES, et sont des outils importants pour la préservation des écosystèmes et des services écosystémiques (Mitchell et coll., 2021). En offrant un habitat et un refuge à la biodiversité et en séquestrant le carbone (voir l'encadré 5.2), les aires protégées et de conservation augmentent la capacité d'adaptation et la résilience des écosystèmes dans leur ensemble, tout en préservant leur capacité à fournir des services écosystémiques. Comprendre où les services écosystémiques sont générés et où les gens en bénéficient est un autre facteur à prendre en compte lorsqu'il s'agit de préserver efficacement les services écosystémiques (Mitchell et coll., 2021).

En tant que partie à la Convention sur la diversité biologique, le Canada s'est engagé à protéger au moins 17 % des zones terrestres et des eaux intérieures, et 10 % des zones côtières et marines d'ici 2020

(Biodivcanada, 2020). En date de 2019, 12,1 % du territoire terrestre du Canada (terre et eau douce) était conservé (dont 11,4 % dans des aires protégées), et 13,8 % du territoire marin du Canada était conservé (dont 8,9 % dans des aires protégées), dépassant ainsi l'objectif initial pour les aires marines (Gouvernement du Canada, 2020).

Il existe de nombreux types d'aires protégées et de conservation, permettant différentes activités et utilisations des ressources aux niveaux national, provincial, territorial et local. En voici quelques exemples :

- Les aires protégées et de conservation autochtones (APCA) (voir l'étude de cas 5.4), qui constituent une classification élaborée dans le cadre des objectifs et cibles 2020 en matière de biodiversité pour le Canada (Biodivcanada, 2020), en réponse à l'engagement du Canada dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique. Cette classification reconnaît le leadership important des peuples autochtones dans la gestion de leurs terres, ainsi que l'importance que ces aires peuvent jouer dans la préservation de la biodiversité et la protection du patrimoine culturel.
- Les grandes aires protégées forestières nationales et provinciales, qui peuvent servir de puits de carbone importants du point de vue mondial, tout en fournissant une série de services écosystémiques (p. ex. amélioration de la qualité de l'eau et de l'air, possibilités de loisirs, refuges pour les espèces migratrices et les pollinisateurs).
- Les aires protégées et de conservation au niveau local, dont les espaces verts urbains, les parcs municipaux et les terres humides, fournissent une série de services, tels que des avantages pour la santé humaine en réduisant les impacts de la chaleur extrême liée aux changements climatiques (voir l'étude de cas 5.7 et la section 5.5.2.4).

Le réseau national d'aires protégées et de conservation tient compte de la diversité des écosystèmes et des espèces, autant que de la diversité sur le plan génétique. Par exemple, des forêts plus biodiversifiées peuvent séquestrer davantage de carbone et sont mieux équipées pour résister aux invasions et aux maladies (Bunker et coll., 2005). La connectivité des habitats est une autre question importante à prendre en compte pour les aires protégées et de conservation face aux changements climatiques, car les aires de répartition des espèces réagissent et s'adaptent aux conditions changeantes. Par exemple, l'initiative Yellowstone to Yukon Conservation (Y2Y) est un effort international visant à relier les terres conservées, et à maintenir et connecter les habitats appropriés importants pour que la faune puisse migrer et s'adapter, au besoin, dans un climat en changement (Yellowstone to Yukon Conservation Initiative, s.d.). À mesure que les habitats viables se déplacent vers le nord, il peut être nécessaire de reconsidérer les limites des parcs et des refuges afin de continuer à protéger les espèces, tout en fournissant un habitat et des services pour la nature et les personnes (Graumlich et Francis, 2010).

5.3 Les impacts varieront selon les écosystèmes et les régions du Canada

Les réponses des écosystèmes aux changements climatiques varieront selon les régions du Canada. Les régions septentrionales, montagneuses et côtières sont particulièrement vulnérables aux impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques, en raison notamment des possibilités d'adaptation limitées. Le renforcement de la capacité d'adaptation des personnes et des collectivités vivant dans ces régions est essentiel pour maintenir et préserver les services écosystémiques.

Les changements climatiques ont des répercussions sur les écosystèmes du Canada de différentes manières, affectant leur capacité à fournir des services aux collectivités qui en dépendent. Les réponses des écosystèmes varieront également en fonction de leur exposition et de leur sensibilité aux impacts des changements climatiques, ainsi que de leurs seuils et points de bascule particuliers. Comprendre, évaluer et cartographier les changements dans les écosystèmes, les menaces qui pèsent sur les services écosystémiques et la vulnérabilité des collectivités à ces changements peut aider à déterminer les domaines prioritaires et les possibilités d'adaptation. Il est important de renforcer la capacité d'adaptation des collectivités qui dépendent des services écosystémiques afin de maintenir leur intégrité face au climat en changement et de réduire au minimum les conséquences pour ces collectivités sur le plan de la santé humaine, du bien-être et des moyens de subsistance.

5.3.1 Introduction

Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes du Canada seront répartis de manière inégale sur l'ensemble du pays (voir la figure 5.8). Parallèlement, les réponses des écosystèmes à ces changements varieront également (Breshears et coll., 2011). En particulier, les régions septentrionales, alpines et côtières du Canada devraient connaître des transformations importantes et rapides en raison des changements climatiques (Bush et Lemmen, 2019; GIEC, 2019a; IPBES, 2018). Dans beaucoup de ces endroits, les impacts des changements climatiques surpassent la capacité des écosystèmes à amortir les effets de la variabilité, ce qui entraîne des changements dans les services écosystémiques. La gestion de ces changements mettra au défi la capacité des systèmes socioécologiques à réagir de manière adaptative.

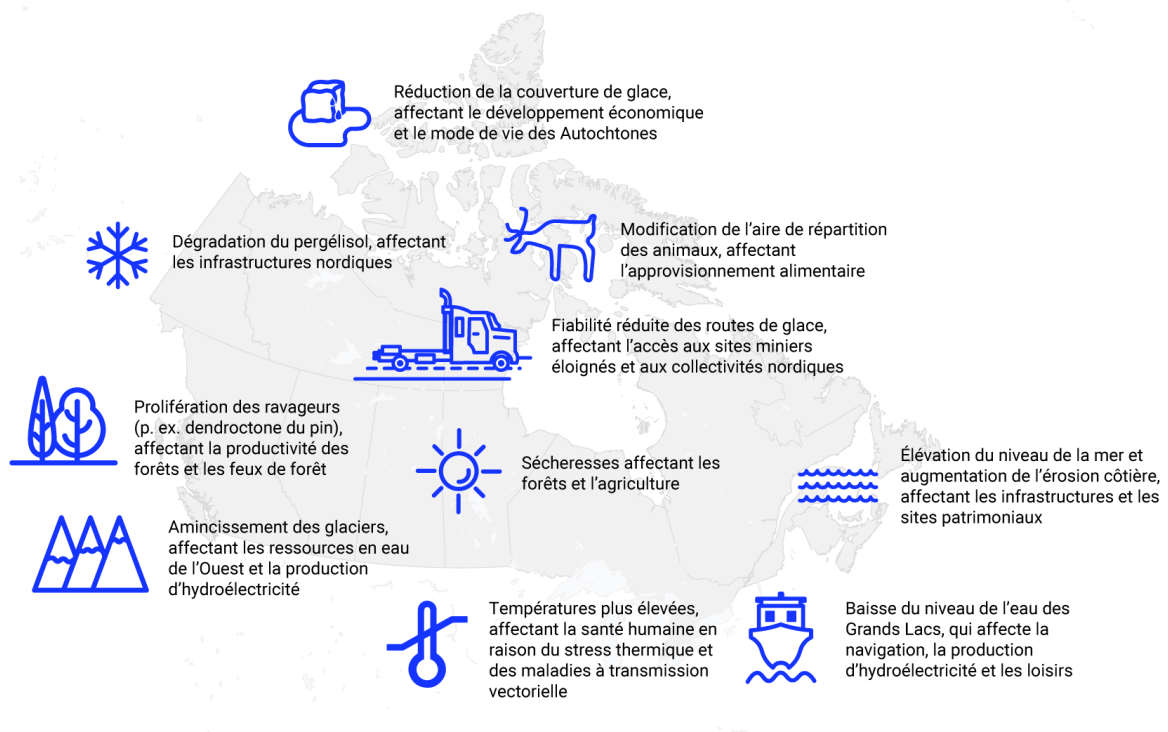


Figure 5.8 : Les changements climatiques ont des impacts dans différentes régions du Canada, dont beaucoup ont des conséquences sur les écosystèmes et sur les services écosystémiques. Source : Adapté du gouvernement du Canada, 2014.

Par ailleurs, certains segments de la population canadienne sont plus vulnérables aux changements dans les services écosystémiques en raison de leur emplacement géographique, de leur dépendance à l'égard de ces services ou de leur statut socio-économique (Pearce et coll., 2012; Ford et Pearce, 2010). En voici quelques exemples : les collectivités autochtones, les collectivités qui dépendent des ressources naturelles pour leur subsistance (voir le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »), les collectivités situées dans les régions arctiques, alpines ou côtières, et les personnes défavorisées sur le plan socio-économique. Bien qu'elles soient généralement résilientes et capables de s'adapter, beaucoup de ces collectivités ont des ressources restreintes et un accès limité aux technologies et aux alternatives des services écosystémiques qu'elles pourraient utiliser afin de s'adapter efficacement aux changements dans les services écosystémiques à leur disposition. Il existe divers outils susceptibles de soutenir les décisions de gestion et de renforcer la capacité d'adaptation de ces collectivités, notamment en facilitant l'intégration des données biophysiques et socio-économiques dans les processus de détermination des risques (voir l'encadré 5.3).

Encadré 5.3 : Outils pour quantifier les flux dans les écosystèmes

La quantification des flux de services écosystémiques peut s'avérer difficile en raison des nombreuses interactions et boucles de rétroaction au sein des écosystèmes, ainsi que de l'influence des frontières politiques, des lois et règlements des différentes compétences et des facteurs économiques sur les décisions de gestion et, en fin de compte, sur les résultats du point de vue écologique. De nombreuses stratégies ont vu le jour pour relever les défis de la quantification, notamment l'utilisation de frontières écologiques (comme les bassins versants), les indicateurs substitutifs, la modélisation, le recours aux avis d'experts, ainsi que l'utilisation d'outils permettant de combiner différents types de données sur les écosystèmes. Des outils et des approches d'évaluation plus complets sont recherchés, incluant un éventail d'expertises et de types de connaissances différents (Wei et coll., 2017). Les cadres d'évaluation des menaces font partie des divers outils qui peuvent aider à déterminer de quelle manière les pressions multiples intensifient les impacts des changements climatiques, et permettent de situer les secteurs à forte incidence où l'offre de services écosystémiques diminue tandis que la demande augmente (Mace et coll., 2012). Ainsi, les cartes des services écosystémiques qui incluent l'offre et la demande, ainsi que les bassins versants, les données économiques et d'autres valeurs importantes, sont des outils utiles d'aide à la décision (Haines-Young et coll., 2012; Naidoo et coll., 2008).

5.3.2 Les régions nordiques

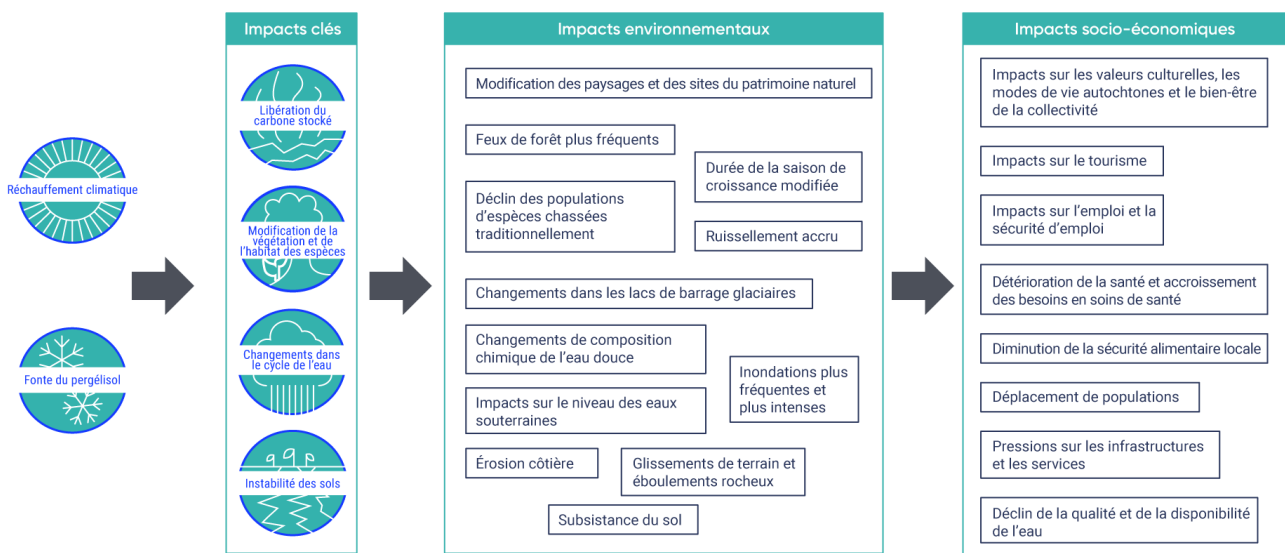
Le nord du Canada s'est réchauffé et continuera de se réchauffer à plus du double du taux mondial (Bush et Lemmen, 2019), ce qui a des répercussions sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (Pithan et Mauritsen, 2014; Screen et Simmonds, 2010). Cette région devrait connaître une augmentation des températures et des précipitations, et une diminution des chutes de neige (Cohen et coll., 2019; Vavrus et coll., 2012; Callaghan et coll., 2011), avec des changements connexes pour le pergélisol, la glace de mer et les glaciers (Derksen et coll., 2018). Des changements rapides, vastes et importants dans les écosystèmes ont été observés et/ou sont attendus, notamment :

- la croissance accrue des arbustes (arbustification), la migration vers le nord de la végétation et la disparition de la toundra arctique (Pearson et coll., 2013; Myers-Smith et coll., 2011);
- le déplacement vers les pôles des aires de répartition des espèces et des écosystèmes, notamment des espèces animales et végétales et des écosystèmes forestiers (Kortsch et coll., 2015; Brommer et coll., 2012);
- des changements dans la couverture neigeuse, la fonte des neiges, la disponibilité et la qualité de l'eau (Evengard et coll., 2011);
- des invasions de nouvelles espèces de poissons et modifications des pêches en eau douce et des pêches en mer (Wassmann et coll., 2011);
- le déclin de la population de caribous (voir l'étude de cas 5.3; Cressman, 2020; Mallory et Boyce, 2017), lié à un accès réduit à la nourriture en raison d'une fonte des neiges plus précoce et plus rapide, de l'augmentation des cycles de gel-dégel, ainsi qu'à un harcèlement accru par les

insectes (Cressman, 2020; Johnson et coll., 2012; Hansen et coll., 2011b);

- la perte de glace de mer et des impacts négatifs sur les populations d'ours polaires et de phoques (Stirling et Derocher, 2012);
- le dégel du pergélisol, la déstabilisation des infrastructures et la libération du carbone du sol (Schuur et coll., 2015);
- des augmentations de la productivité primaire nette dans certaines zones de l'ouest des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon (Boone et coll., 2018; Stralberg et coll., 2018), avec une incidence sur la dynamique et le stockage du carbone.

Ces changements écologiques auront des effets en cascade qui affecteront un large éventail de services écosystémiques, notamment l'offre alimentaire, l'approvisionnement en eau douce et la qualité de celle-ci, la régulation du climat, la santé des collectivités et les loisirs de plein air (Stern et Gaden, 2015; Allard et coll., 2012; Kelly et Gobas, 2001). Les effets en cascade se produisent lorsqu'un danger génère une séquence d'événements secondaires dans les systèmes naturels et humains qui entraînent des perturbations physiques, naturelles, sociales ou économiques, et lorsque l'impact qui en résulte est nettement plus important que l'impact initial (GIEC, 2019b). Ces impacts sont complexes et multidimensionnels. Par exemple, le dégel prévu du pergélisol dans l'Arctique devrait affecter la répartition des plantes et des animaux, ce qui pourrait entraîner un déclin des espèces chassées et des conséquences négatives sur la sécurité alimentaire locale (voir la figure 5.9).



Remarque : Cette figure fournit des exemples d'impacts environnementaux et socio-économiques en cascade associés au réchauffement climatique et à la fonte du pergélisol, et ne prétend pas être exhaustive.

Figure 5.9 : Les impacts des changements climatiques sur le pergélisol et leurs effets en cascade sur la société et l'environnement. Source des données : GIEC, 2019b.

Les collectivités nordiques sont particulièrement vulnérables aux bouleversements des écosystèmes et aux modifications correspondantes des services écosystémiques. De nombreuses collectivités nordiques et autochtones dépendent de services d'approvisionnement pour assurer leur sécurité alimentaire, y compris le gibier, les mammifères marins, les poissons et les espèces végétales (Hoover et coll., 2016) que les changements climatiques menacent déjà (voir l'étude de cas 5.3 et le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »; Beaumier et Ford, 2010; Wesche et Chan, 2010). Les solutions de rechange à ces sources de nourriture sont limitées et aussi extrêmement coûteuses compte tenu des frais de transport vers le Nord (Mead et coll., 2010). Par conséquent, les changements climatiques pourraient accroître l'insécurité alimentaire dans le Nord. Les loisirs de plein air, la chasse sportive et l'observation de la faune sont des composantes importantes des économies du Nord (Chanteloup, 2013); la perte d'espèces sauvages et les changements dans leur répartition pourraient rendre ces activités plus difficiles et imprévisibles, tout en menaçant les activités culturelles traditionnelles (Ford et Pearce, 2010).

En raison de leur éloignement géographique, de leurs populations de petite taille et de leur situation à proximité des limites septentrionales de l'aire de répartition de nombreuses espèces, les collectivités du Nord canadien ont tendance à disposer de moins d'options pour s'adapter aux changements climatiques, tels que les phénomènes météorologiques extrêmes, le déclin de la glace de mer et le dégel du pergélisol (avec les impacts sur les infrastructures qui en découlent), ce qui affecte leur capacité d'adaptation (Meredith et coll., 2019). Bien que les collectivités autochtones aient une grande capacité d'adaptation, leurs ressources financières et leurs capacités organisationnelles limitées peuvent restreindre davantage les options d'adaptation (voir le chapitre « Nord du Canada »; Meredith et coll., 2019).

5.3.3 Régions montagneuses

Les régions montagneuses du Canada sont vulnérables aux changements climatiques, notamment à l'augmentation des températures et des précipitations, à la multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes, à la plus grande variabilité des chutes de neige (Kohler et coll., 2014; Gonzalez et coll., 2010) et à une plus grande fréquence des feux de forêt (Rocca et coll., 2014). Les espèces et les écosystèmes alpins sont considérés comme particulièrement vulnérables aux changements climatiques, car leur capacité à se déplacer vers des altitudes plus élevées et à suivre les conditions climatiques est limitée par la hauteur physique des montagnes où ils se trouvent (Rudmann-Maurer et coll., 2014). Les changements climatiques devraient entraîner des modifications de la couverture neigeuse (Würzer et coll., 2016), la disparition des glaciers de montagne (Shugar et Clague, 2018), la remontée de la limite des arbres et la disparition d'espèces et d'écosystèmes alpins (Rudmann-Maurer et coll., 2014). Par exemple, les glaciers du champ de glace Columbia, dans les Rocheuses canadiennes, ont connu des changements spectaculaires entre 1919 et 2009, perdant 22,5 % de leur superficie totale tout en reculant de plus de 1,1 km en moyenne sur cette période (Derksen et coll., 2018; Tennant et Menounos, 2013).

Ces changements devraient avoir un impact sur les principaux services écosystémiques dans ces régions. En particulier, la perte de couverture glaciaire et neigeuse dans les zones montagneuses et le dégel du pergélisol, combinés à des épisodes de pluie extrêmes, devraient entraîner une augmentation des éboulements et des coulées de boue dans certaines zones alpines (Huggel et coll., 2011). Les changements subis par les

forêts de montagne peuvent également compromettre leur capacité à se protéger contre les inondations, les coulées de débris, les glissements de terrain, les éboulements et les avalanches (Lindner et coll., 2010). En outre, l'augmentation de la fréquence des perturbations telles que les incendies, les chablis et les infestations de ravageurs affecterait le ruissellement et la qualité de l'eau (Lindner et coll., 2010). Enfin, la beauté du paysage peut être affectée par le recul des glaciers et la perte de zones enneigées pendant une grande partie de l'année, ainsi que par le changement des habitudes de loisirs, alors que de nouvelles zones touristiques apparaissent et que les gens recherchent les zones en montagne comme refuges face aux vagues de chaleur (Palomo, 2017). Par exemple, on prévoit que les Rocheuses canadiennes connaîtront une augmentation du tourisme allant jusqu'à 36 % d'ici à 2050, sous l'effet d'un temps plus chaud, mais une diminution potentielle à l'approche de 2080, car les impacts environnementaux et la disparition des glaciers réduisent le potentiel de la région pour les loisirs de plein air (Palomo, 2017).

5.3.4 Régions forestières

Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers et leurs services écosystémiques varieront selon les régions forestières du Canada et seront bien souvent cumulatifs (voir le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »). Les changements climatiques sont un facteur essentiel de perturbations progressives, telles que les infestations de ravageurs, qui influent sur la probabilité de phénomènes de perturbation immédiats, tout en affectant la structure et la composition à long terme des forêts (van Lierop et coll., 2015; Sturrock et coll., 2011; Burton, 2010). La hausse des perturbations affecte probablement aussi le stockage du carbone (voir l'encadré 5.2; Arora et coll., 2016; Kurz et coll., 2008), les loisirs et la régulation de la qualité de l'eau (Ford, 2009).

On prévoit également des risques accrus de chablis dans les forêts de l'est du Canada, en raison de la diminution de la durée du gel du sol (Saad et coll., 2017) et du déclin du tremble causé par la sécheresse en Alberta et en Saskatchewan (Michaelian et coll., 2010). Une mortalité végétale régionale massive similaire s'est produite dans le sud-ouest des États-Unis en raison de la sécheresse et d'une épidémie de scolytes en 2002–2003 (Breshears et coll., 2005). Dans ce cas, la mortalité massive des arbres a entraîné une diminution de la récolte de bois de chauffage et de pins à pignons, une dégradation de la régulation de l'érosion du sol, une modification des paysages et une réduction de la qualité des loisirs, bien qu'il ait augmenté la production de fourrage pour le bétail (Breshears et coll., 2011). Des changements similaires dans la fourniture de services écosystémiques forestiers au Canada, résultant des changements climatiques, pourraient se produire dans des régions particulières.

À court terme, les risques de feux de forêt et de sécheresse sont accrus (Boucher et coll., 2018; Boulanger et coll., 2017a), car les hausses de température devraient dépasser les effets modérateurs de l'augmentation des précipitations sur les conditions météorologiques propices aux incendies forestiers (Zhang et coll., 2019). Au Canada, la dynamique des incendies et leurs impacts sur les services écosystémiques des forêts varieront considérablement (Boulanger et coll., 2017a; Hope et coll., 2016). Cette variabilité spatiale de l'activité des incendies aura des impacts importants sur les services écosystémiques des forêts et sur les coûts de la lutte contre les incendies dans les provinces canadiennes. Par exemple, le feu de forêt de Fort McMurray de 2016 a coûté plus de 3,9 milliards de dollars (Bureau d'assurance du Canada, 2019) et a entraîné des effets à long

terme et généralisés sur les rivières de la région, avec des impacts sur la qualité de l'eau (voir le chapitre « [Ressources en eau](#) »; Emmerton et coll., 2020). Le potentiel de « méga-incendies » dans les forêts tempérées et boréales en raison des changements climatiques et de la gestion forestière (p. ex. la suppression des incendies) augmentera également en fonction des changements climatiques (Adams, 2013). Ces types de grands incendies peuvent faire passer la végétation des écosystèmes forestiers boréaux dominés par les conifères à des écosystèmes de feuillus, ou pourraient faire passer les forêts tempérées, à certains endroits, à une végétation non forestière (Boulanger et coll., 2017b). Ces seuils, s'ils étaient franchis, auraient des impacts importants sur les services écosystémiques tels que le stockage du carbone, l'approvisionnement en bois, la régulation du climat, l'approvisionnement en eau (puisque la repousse de la végétation réduit la quantité d'eau disponible) et les loisirs (voir le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »; Mina et coll., 2017; Adams, 2013).

Différentes approches sont utilisées pour réduire les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers et les espèces, comme la réduction des risques d'incendie par une gestion active du combustible (p. ex. l'éclaircissement, l'enlèvement des débris et le brûlage dirigé) (Astrup et coll., 2018; Schroeder, 2010), la plantation d'une plus grande proportion d'espèces tolérantes au feu et de feuillus (Bernier et coll., 2016) et, dans certains cas, la mise en œuvre d'une migration assistée des espèces vulnérables et importantes (voir l'étude de cas 5.2).

Étude de cas 5.2 : Migration assistée du pin à écorce blanche en C.-B. et en Alberta en réponse aux changements climatiques

À mesure que l'habitat approprié pour certaines espèces d'arbres se déplace vers le nord sous l'effet du climat en changement, la migration naturelle des populations d'arbres peut ne pas se produire à la vitesse requise pour que les populations restent associées aux écosystèmes dans lesquels elles ont évolué (Sáenz-Romero et coll., 2021). Cette dissociation entraîne des stress abiotiques et biotiques, tels que la sécheresse, qui conduisent à une mortalité massive des arbres (Sáenz-Romero et coll., 2021). À mesure que les changements climatiques progressent, les méthodes de conservation traditionnelles peuvent ne plus suffire à protéger les populations et de nouvelles stratégies adaptatives peuvent être nécessaires (Hällfors et coll., 2017).

La migration assistée, soit le déplacement assisté de génotypes par le biais du reboisement et de la restauration afin d'atténuer les impacts futurs des changements climatiques sur la santé et la productivité des forêts (Sáenz-Romero et coll., 2021, p. 2), est une stratégie d'adaptation émergente qui suscite de plus en plus d'intérêt dans le monde. En étendant les populations dans la direction où les changements climatiques les mèneront éventuellement, la santé des forêts et les services écosystémiques qu'elles fournissent peuvent être maintenus.

Le pin à écorce blanche (*Pinus albicaulis*) est une espèce d'arbre qui est à la base de divers écosystèmes de haute altitude et subalpins dans les régions montagneuses de la Colombie-Britannique et de l'Alberta. Son système racinaire aide à stabiliser la neige, l'humidité et le sol, et ses grosses graines riches en nutriments nourrissent une variété d'espèces d'oiseaux et de mammifères, dont le casse-noix de Clark, l'écureuil roux et

l'ours (Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2021). Le pin à écorce blanche est inscrit sur la liste des espèces « en voie de disparition » en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* du Canada depuis 2012, en raison du déclin marqué de sa population dans la majeure partie de son aire de répartition (voir la figure 5.10). Cette situation résulte des effets combinés de facteurs tels que le dendroctone du pin, un agent pathogène introduit qui cause la rouille vésiculeuse du pin blanc (*Cronartium ribicola*) et les changements climatiques (Gouvernement du Canada, 2011). Il est estimé que le pin à écorce blanche aura largement disparu de son aire de répartition actuelle d'ici les 70 prochaines années (McLane et Aitken, 2012).

Le programme de rétablissement du pin à écorce blanche au Canada (ECCC, 2017) signale que les techniques de migration assistée pourraient devoir faire partie de l'approche utilisée pour lutter contre la perte d'habitat causée par les changements climatiques, et qu'il faut repérer des habitats propices à la croissance de l'espèce. Des essais sur le terrain ont été lancés pour évaluer la capacité de migration assistée du pin à écorce blanche dans les aires de répartition futures prévues (Sáenz-Romero et coll., 2021; McLane et Aitken, 2012). Une étude a révélé que l'établissement du pin à écorce blanche en dehors de son aire de répartition actuelle est possible, mais que certains facteurs doivent être pris en compte (Sáenz-Romero et coll., 2021), notamment le potentiel de dispersion naturelle des graines (c.-à-d. si les espèces d'oiseaux responsables de la plupart des dispersions dans l'aire de répartition actuelle de l'espèce suivront le déplacement assisté de l'aire de répartition) et le degré de soutien public pour la migration assistée en dehors de l'aire de répartition actuelle (p. ex. il peut y avoir une résistance des collectivités locales ou autochtones à l'introduction d'une espèce non indigène dans les aires proposées).

Malgré le débat en cours sur le succès à long terme ou les méthodes de migration assistée appropriées, il est généralement admis que davantage d'études sur le terrain sont nécessaires pour mieux évaluer et quantifier l'efficacité de cette approche en tant que stratégie d'adaptation aux changements climatiques à long terme (Bucharova, 2017).

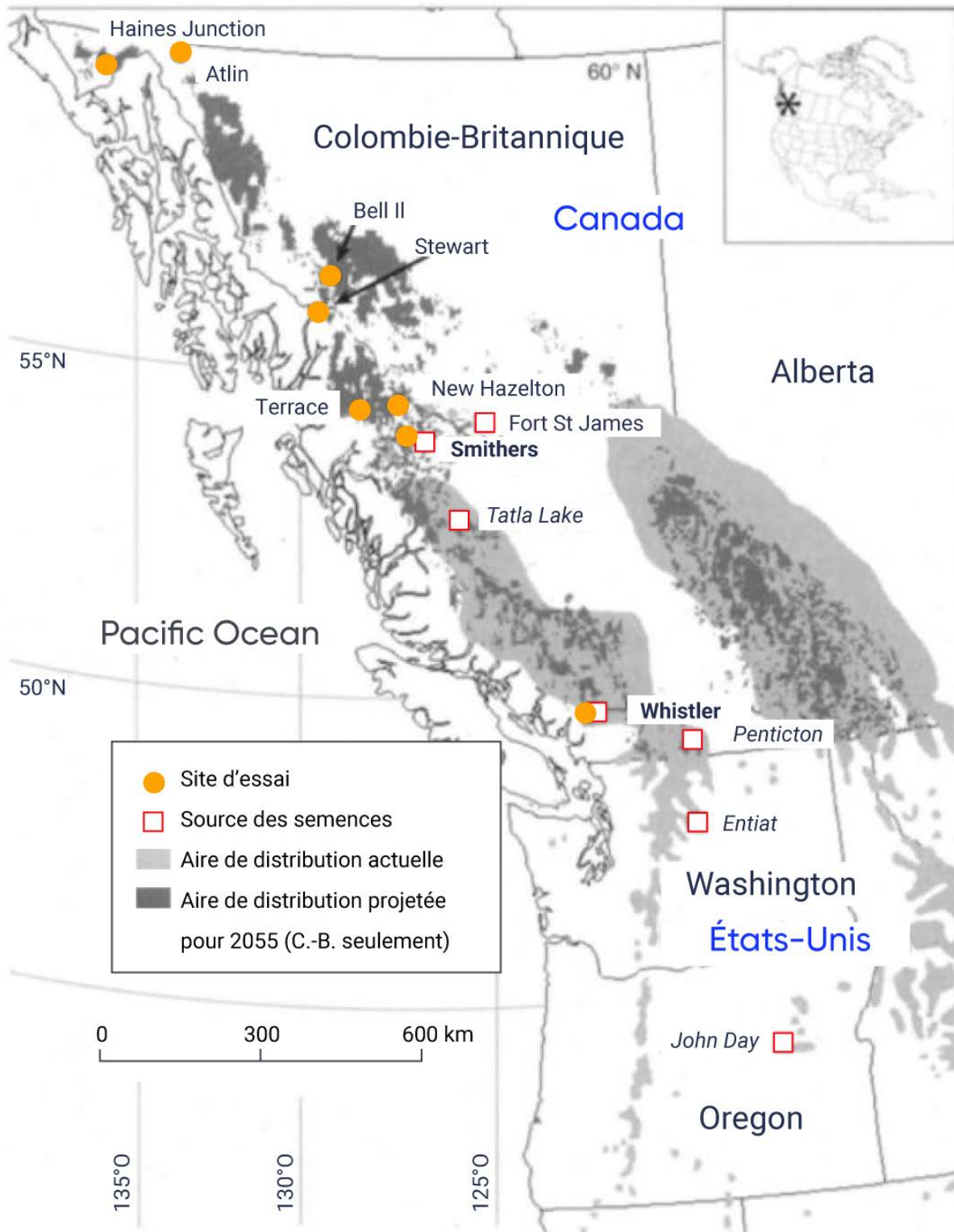


Figure 5.10 : Carte de l'aire de répartition actuelle observée et de l'aire de répartition future prévue en 2055 pour le pin à écorce blanche (*Pinus albicaulis*), ainsi que des sites d'essai de l'expérience de migration assistée. Source : Adapté de Sáenz-Romero et coll., 2021.

5.3.5 Régions côtières

Le Canada possède le plus long littoral du monde, mesurant plus de 240 000 kilomètres (Taylor et coll., 2014). Les régions côtières sont habitées par environ 6,5 millions de Canadiens et sont des éléments caractéristiques de notre identité nationale (Lemmen et coll., 2016), en plus d'apporter une contribution essentielle à l'économie (Association des administrations portuaires canadiennes, 2013). Compte tenu de l'importance des écosystèmes côtiers pour la protection des côtes, le contrôle de l'érosion, les pêches marines, le stockage du carbone, les loisirs et les liens entre l'habitat et la pêche (Barbier et coll., 2011), la perte et la dégradation des zones côtières sont appelées à avoir des impacts substantiels sur la fourniture des services écosystémiques de ces régions (Bernhardt et Leslie, 2013). L'ampleur des impacts sur les écosystèmes et les populations dépendra du succès des mesures d'adaptation.

Bien que les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes marins restent encore mal quantifiés (Lemmen et coll., 2016), les risques climatiques recensés au Canada comprennent des températures plus élevées et des modèles de précipitations changeants, des ondes de tempête plus intenses, des changements dans l'élévation du niveau de la mer, la diminution de la glace de mer, des changements dans l'hydrologie (y compris la fonte des glaciers) et des changements dans les propriétés de l'eau des océans (p. ex. la température, la salinité, l'acidification et l'hypoxie) (Lemmen et coll., 2016). Les impacts des changements de la glace de mer, les variations du niveau de la mer et de l'acidité des océans sont brièvement examinés dans le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) ».

L'élévation du niveau de la mer peut entraîner la réduction et la perte d'habitats côtiers importants, comme les marais salés, par un processus connu sous le nom de « rétrécissement de l'espace côtier » (Savard et coll., 2016; Hartig et coll., 2002). Cela se produit lorsque les écosystèmes sont incapables de migrer vers les terres en réponse à l'élévation du niveau de la mer en raison d'une barrière, telle qu'une digue ou une falaise (voir l'étude de cas 5.1; Atkinson et coll., 2016). Les projections des changements dans l'élévation du niveau de la mer jusqu'en 2100 fluctuent d'une élévation de près de 100 cm dans certaines régions de la côte Est et de la côte Ouest, à une baisse équivalente du niveau de la mer (c.-à-d. de près de 100 cm) dans certaines régions centrales de la côte septentrionale canadienne (Lemmen et coll., 2016), en raison de variations dans le mouvement vertical des terres (p. ex. Atkinson et coll., 2016). L'élévation du niveau de la mer entraînera des risques accrus d'inondations et, dans certains cas, menacera la viabilité des collectivités de faible altitude, en particulier lorsque les tempêtes côtières intensifieront les effets de l'élévation du niveau de la mer (Yang et coll., 2014).

Les régions de la côte Nord et de la côte Est connaissent des changements dans l'étendue, l'épaisseur et la durée de la glace de mer, avec des diminutions de l'étendue allant d'environ 2,9 % à 10 % par décennie dans le Nord et de 2,7 % par décennie depuis 1969 dans certaines zones de la côte Est (Service canadien des glaces, 2007). Les impacts sur les populations sont plus marqués dans le Nord, où les changements de la glace de mer ont rendu les déplacements plus dangereux, affecté les espèces de subsistance (voir la figure 5.11), compromis les activités de récolte traditionnelles et eu un impact sur le bien-être (Lemmen et coll., 2016). Enfin, l'acidification des océans menace les mollusques et d'autres organismes aquatiques, ce qui peut avoir des conséquences sur l'approvisionnement alimentaire provenant des activités de pêche et d'aquaculture dans les régions des côtes Est et Ouest.

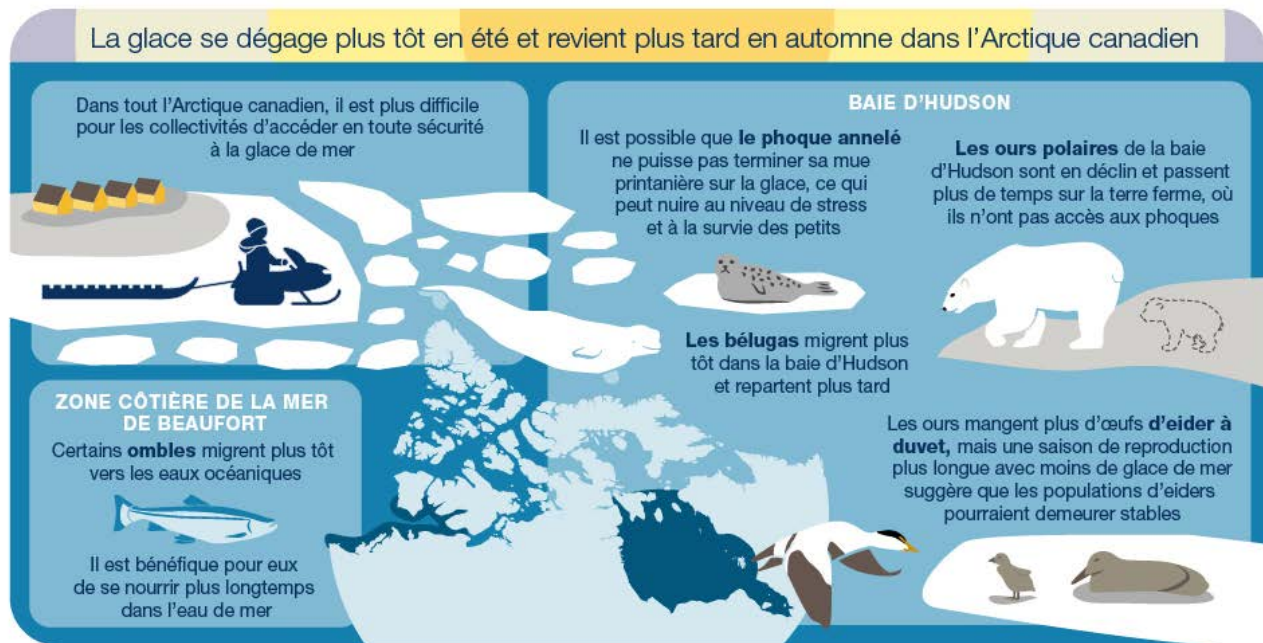


Figure 5.11 : Impacts des changements de la glace de mer sur les espèces utilisées à des fins alimentaires ou autres (espèces de subsistance). Source : Ministère des Pêches et des Océans (2019).

5.3.6 Renforcement de la capacité d'adaptation

Le renforcement de la capacité des collectivités vulnérables à s'adapter aux changements climatiques (c.-à-d. la capacité d'adaptation) est essentiel pour faciliter l'adaptation aux modifications des services écosystémiques découlant des changements climatiques. La capacité d'adaptation peut prendre différentes formes. Les connaissances autochtones ont fourni et continueront de fournir une base importante pour l'adaptation aux changements climatiques (Pearce et coll., 2015) face aux changements des services écosystémiques (voir la section 5.4 et l'étude de cas 5.3). Des sources diversifiées de moyens de subsistance et de soutien économique, ainsi que des initiatives de planification régionale visant à conserver et à gérer collectivement les services écosystémiques augmentent également la capacité d'adaptation (voir le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »).

Une augmentation des ressources éducatives, logistiques et financières pour soutenir la gestion et la restauration des écosystèmes clés qui fournissent des services écosystémiques contribue à améliorer la capacité d'adaptation (Keesstra et coll., 2018). Le maintien et la restauration des écosystèmes côtiers, par exemple, peuvent réduire la vulnérabilité des zones côtières aux effets des changements climatiques et à la perte ou à la réduction des services écosystémiques qui en découlent (voir l'étude de cas 5.1 et l'étude de cas 5.6). Ces mesures sont plus efficaces lorsque les risques et dangers propres aux changements climatiques

et aux services écosystémiques sont reconnus et intégrés dans des approches d'adaptation fondées sur la nature (voir la section 5.5; Wamsler et coll., 2016).

Il est également important de s'attaquer aux obstacles à la capacité d'adaptation. Des évaluations complètes de la vulnérabilité aux changements dans les services écosystémiques et de la capacité d'adaptation aux impacts futurs des changements climatiques n'ont pas été réalisées pour le Canada (p. ex. Ford et Pearce, 2010). Elles pourraient toutefois aider à déterminer les possibilités de renforcement de la capacité d'adaptation en ce qui concerne les services écosystémiques (Boyd, 2010). En particulier, la plupart des études se concentrent sur les impacts biophysiques des changements climatiques et des services écosystémiques, mais peu d'entre elles prennent en compte les aspects socio-économiques, qui sont tout aussi importants (Ford et Pearce, 2010) ou cherchent à comprendre comment intégrer ces renseignements dans les décisions de gestion (Keenan, 2015). Ce manque de données et de connaissances rendra difficile l'adaptation des collectivités vulnérables aux impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques, alors que leurs ressources et leur accès à l'information sont souvent limités.

5.4 Les connaissances autochtones sont essentielles au maintien des écosystèmes

Les connaissances autochtones sont essentielles au maintien des écosystèmes et des services écosystémiques qu'ils fournissent dans un climat en changement. Les systèmes de connaissances autochtones englobent différents points de vue pour mieux saisir la complexité de l'environnement et proposent des stratégies pour réduire les changements environnementaux, le gérer et s'y adapter d'une manière globale et adaptée au milieu.

Les peuples autochtones jouent un rôle de plus en plus important dans la lutte contre les changements climatiques et la dégradation de l'environnement. En raison de leur lien étroit avec la nature et la terre, les peuples autochtones sont très attentifs et souvent directement touchés par les modifications des écosystèmes et des services qu'ils offrent, lesquels peuvent avoir des liens importants avec leur culture et leur identité. Les futures pratiques de gestion de l'utilisation des terres peuvent être mieux orientées par les connaissances autochtones de manière à optimiser les avantages écologiques, culturels et économiques sur leurs territoires traditionnels et ailleurs.

5.4.1 Introduction

Depuis des millénaires, les peuples autochtones du Canada, dont les Premières Nations, les Inuits et les Métis, jouent un rôle de premier plan dans la protection et la conservation de leurs territoires traditionnels et de leurs terres natales. Aujourd'hui, cela se poursuit grâce au travail des protecteurs de l'eau et gardiens

autochtones et de nombreuses autres initiatives dirigées par des Autochtones pour défendre la résilience et l'harmonie avec mère Nature. Les peuples autochtones entretiennent des liens culturels et spirituels forts avec la terre et l'eau, et ont une longue histoire d'adaptation aux changements sociaux et environnementaux. Ils ont souvent pu résider pendant des millénaires sur leurs territoires grâce à l'apprentissage et à la mise en commun de connaissances adaptatives (Houde, 2007) et, dans de nombreux cas, cela a conduit à une augmentation de la biodiversité locale (Harlan, 1995; Blackburn et Anderson, 1993). Par exemple, une étude récente a révélé que les terres gérées par les Autochtones au Canada présentent des niveaux de biodiversité des vertébrés légèrement supérieurs à ceux des aires protégées, tout en abritant un plus grand nombre d'espèces de vertébrés menacés (Schuster et coll., 2019). Les partenariats entre les collectivités autochtones et d'autres organismes gouvernementaux pourraient renforcer les efforts de préservation de la biodiversité.

Cependant, le découplage des modes de vie autochtones d'avec les terres traditionnelles et la dégradation de l'environnement peuvent finir par éroder les pratiques culturelles, la langue et les connaissances écologiques locales, compromettant ainsi la pérennité des systèmes culturels et environnementaux. Dans le monde comme au Canada, des proportions importantes de populations autochtones vivent dans des régions particulièrement vulnérables aux impacts des changements climatiques, comme les zones côtières, les lieux de faible altitude et les terres sujettes aux inondations. Les populations autochtones ont également tendance à pratiquer des modes de subsistance basés sur les ressources et à dépendre de la terre comme source de nourriture, de remèdes traditionnels et d'identité. Par ailleurs, elles continuent à vivre avec les conséquences de la colonisation et des traumatismes historiques. Les changements climatiques exacerbent souvent ces circonstances préexistantes (Pearce et coll., 2015; Berrang-Ford et coll., 2012; Nakashima et coll., 2012).

5.4.2 Les principes d'apprentissage autochtones

Il serait faux de présumer qu'une liste de traits culturels communs permet de décrire la richesse et la diversité des peuples autochtones. Au Canada, il existe une grande variété de nations, de coutumes, de traditions, de langues et de visions du monde. Néanmoins, il existe des similitudes entre les systèmes de connaissances autochtones (principes d'apprentissage). Ceux-ci peuvent être définis comme étant une connaissance approfondie du lieu, accumulée sur de longues périodes et jumelée à un cadre permettant de concevoir la complexité.

Les connaissances autochtones ont été décrites comme étant les processus qui explorent la façon dont les éléments constitutifs d'un système sont interreliés, comment les systèmes auxquels ils appartiennent évoluent dans le temps et comment ils sont intégrés à des systèmes plus vastes (Berkes, 1998). Il s'agit d'un ensemble cumulatif de connaissances, de pratiques et de valeurs, acquises par l'expérience, par des observations sur le terrain ou par les enseignements spirituels, et transmis de génération en génération (Noongwook et coll., 2007; Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2005; Cruikshank, 1998; Huntington, 1998). Il peut s'agir de comprendre les interrelations entre les espèces, leurs relations au sein de l'environnement biophysique, ainsi que les répartitions spatiales et les tendances historiques des structures spatiales et des profils de population. Cette forme de connaissance évolue sur de longues périodes et implique un apprentissage constant par la pratique, l'expérimentation et la consolidation des connaissances (Houde, 2007; Neis et coll., 1999; Nickels, 1999; Duerden et Kuhn, 1998; Ferguson et Messier, 1997; Mailhot,

1993; Freeman, 1992; Johnson, 1992a, b). Les connaissances autochtones offrent un éclairage sur divers éléments, par exemple :

- comprendre l'état et l'évolution des fonctions des services écosystémiques dans les territoires traditionnels, ce qui permet de mesurer l'intégrité et la résilience écologiques;
- fournir des signaux avant-coureurs de facteurs de stress environnementaux (p. ex. des changements parmi les espèces végétales ou animales), y compris les impacts des changements climatiques (Olsson et coll., 2004);
- créer une image élargie et multidimensionnelle de l'adaptation liée à des concepts tels que la flexibilité (p. ex. la réponse aux changements des cycles saisonniers de récolte et d'utilisation des ressources), l'évitement des dangers (à partir d'une connaissance détaillée de l'environnement local et de la compréhension des processus écosystémiques) et la préparation aux situations d'urgence (p. ex. savoir comment réagir lors d'une situation d'urgence) (Pearce et coll., 2015).

La prise de conscience grandissante que de nombreuses politiques de gestion ne tiennent pas compte de la complexité des écosystèmes ou des contextes locaux a fait naître un besoin pour de nouveaux processus adaptatifs afin de faire face au changement (Houde, 2007; Gunderson, 1999; Holling et Meffe, 1996). Les connaissances autochtones permettent de cerner quelles sont les répercussions sur les moyens de subsistance, les cultures et les modes de vie, et de dégager des renseignements concernant les stratégies d'adaptation localement appropriées et culturellement pertinentes (voir l'étude de cas 5.3 et le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »; Pearce et coll., 2015; Ford et Pearce, 2012; Pearce et coll., 2011) en construisant des données quantitatives et qualitatives à partir d'un grand nombre de variables (Berkes et Berkes, 2008). La reconnaissance du fait que les systèmes de connaissances autochtones diffèrent des connaissances non autochtones et qu'ils jouent un rôle égal dans l'élaboration des politiques, des programmes et de la prise de décision donne des résultats plus riches et plus équilibrés pour ce qui est du maintien des écosystèmes et de leurs services, desquels dépendent de nombreuses collectivités autochtones.

Étude de cas 5.3 : Préserver la culture Tłıchǫ face au déclin des populations de caribous de la toundra

Le peuple Tłıchǫ tente de renforcer sa résilience face aux impacts des changements climatiques sur ses terres et sa culture. Le peuple Tłıchǫ, dont le territoire traditionnel se trouve dans les Territoires du Nord-Ouest, a été témoin des effets dramatiques des changements climatiques sur l'animal le plus important pour lui sur le plan culturel et social, l'ekwò ou caribou de la toundra (également appelé caribou de Bathurst). Le peuple Tłıchǫ dépend du troupeau de caribous non seulement pour se nourrir, mais aussi pour se vêtir et s'équiper (voir la figure 5.12 et la figure 5.13). Cette espèce clé de voûte, située au centre de la culture Tłıchǫ, connaît un déclin rapide et les changements climatiques y sont pour beaucoup (Cressman, 2020; Mallory et Boyce, 2017). La fonte des neiges plus précoce et plus rapide et l'augmentation des cycles de gel-dégel

tout au long de l'année ont entraîné une pénurie de nourriture et une augmentation du harcèlement par les insectes, ce qui a aggravé le stress du troupeau et entraîné une augmentation des cas de famine et de mortalité des veaux (Cressman, 2020; Johnson et coll., 2012; Hansen et coll., 2011b).

Les relevés de population de caribous révèlent que le troupeau de la toundra est en forte baisse depuis des décennies, étant passé de 472 000 individus en 1986 à seulement 8 200 en 2018 (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, s.d.). Pour protéger le caribou des toundras et, par ricochet, la culture Tłı̄chǫ, le gouvernement Tłı̄chǫ et le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest ont imposé une interdiction de chasse au caribou de la toundra en 2015, laquelle est toujours en vigueur à ce jour. En raison du déclin des populations de caribous, les Tłı̄chǫ se rendent moins fréquemment sur les terres de la toundra, où ils transmettent des connaissances traditionnelles, apprennent la langue et chassent en famille (Galloway et Arvidson, 2020). La disparition totale du caribou présente des risques encore plus grands pour une partie de l'identité et de la culture des Tłı̄chǫ. Il est important pour ces collectivités de pouvoir s'adapter à ces changements et d'être soutenues dans leurs démarches d'adaptation.

Le gouvernement Tłı̄chǫ, avec le soutien de Services aux Autochtones Canada, a lancé le programme Tłı̄chǫ Dǫtaàts'eedı (« partager la nourriture entre les gens ») en 2018 dans les quatre collectivités Tłı̄chǫ. Le programme jumelle de jeunes adultes avec des personnes ayant de l'expérience dans le domaine de la pêche, de la chasse, du piégeage, de la chasse au collet et de la cueillette de baies. La nourriture récoltée est rapportée à la collectivité et les jeunes la distribuent aux aînés. Le programme s'attaque non seulement aux impacts des changements climatiques, mais il le fait aussi d'une manière qui renforce la sécurité alimentaire de même que les valeurs et la culture Tłı̄chǫ (Cressman, 2020). Les jeunes qui participent au programme passent du temps sur le territoire à acquérir des compétences traditionnelles, et ils fournissent des services à leurs collectivités, tout en interagissant avec les aînés. Lorsque le programme Tłı̄chǫ Dǫtaàts'eedı prendra fin en mars 2021, plus de 100 jeunes et 60 récoltants auront collectivement distribué environ 4 000 kg de poisson et de viande aux aînés de la collectivité. Le programme permet aux collectivités de s'adapter aux impacts des changements climatiques par le transfert des connaissances culturelles, le travail de pair avec la nature, l'utilisation des compétences traditionnelles et l'autonomisation des jeunes (Cressman, 2020).



Figure 5.12 : Un aîné de Wekweèti apprend à un jeune membre de la collectivité à gratter et tanner des peaux de caribou. Les peaux sont trempées et étirées sur une planche avant d'être grattées à l'aide d'un k'edze, un outil fabriqué à partir de l'os de la patte inférieure d'un caribou. La photo est une gracieuse tété de Vanita Zoe.



Figure 5.13 : Divers vêtements et outils fabriqués à partir de caribou tanné par des artisans de Wekweètì. La photo est une gracieuseté de Pat Kane..

5.4.3 Cogestion des ressources naturelles et gestion des ressources naturelles par les Autochtones

Les ententes de cogestion conçues pour impliquer les peuples autochtones dès les premières étapes stratégiques de la planification permettent une prise de décision globale et améliorée, ainsi que l'autonomisation des Autochtones par rapport aux activités qui se déroulent sur leurs terres (Houde, 2007). Cela peut nécessiter des cadres juridiques souples permettant la conclusion d'ententes de cogestion qui évoluent et s'adaptent au fil du temps, à mesure que la confiance s'installe entre les partenaires (Houde, 2007). La propriété et le contrôle des connaissances autochtones par les Autochtones doivent être respectés. La reconnaissance des droits fondamentaux des détenteurs de connaissances autochtones inclut le partage des avantages financiers découlant de l'utilisation de ces connaissances (Mauro et Hardison, 2000).

La coproduction de connaissances, c'est-à-dire l'apport de sources de connaissances multiples et de capacités de cocréation de connaissances, nécessite que les partenaires soient ouverts d'esprit et disposés à faire preuve d'humilité (Moller et coll., 2009b). Il est également important de reconnaître qu'il y a des limites à ce en quoi les systèmes de connaissances scientifiques et autochtones peuvent être combinés. Étant donné qu'elles sont fondées sur des méthodologies et des visions du monde différentes, il faut veiller à ce que les connaissances ne soient pas mélangées ou extraites de leur contexte culturel afin qu'elles conservent leur intégrité propre (Moller et coll., 2009a; Parlee et coll., 2005; Davidson-Hunt et Berkes, 2003). Un système de

connaissances n'a pas besoin qu'un autre le corrobore pour qu'il soit perçu comme valide (Cercle autochtone d'experts, 2018).

La réponse du Canada à la Convention sur la diversité biologique (Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1995) fournit des conseils sur l'application des connaissances autochtones par le biais d'un code de conduite éthique, qui conseille de :

- respecter, préserver et maintenir les connaissances, les innovations et les pratiques des collectivités autochtones et locales, qui incarnent des modes de vie traditionnels pertinents pour la conservation de la diversité biologique et l'utilisation durable des ressources naturelles;
- promouvoir une application plus large des connaissances autochtones avec l'approbation et la participation des détenteurs de ces connaissances;
- encourager le partage équitable des bénéfices qui découlent de l'utilisation de ces connaissances.

Les peuples autochtones du Canada jouent un rôle important en faisant preuve de leadership en matière de mesures pour le climat, d'intendance et de préservation des services écosystémiques. Cela se traduit par des efforts visant à préserver les puits de carbone et à élaborer des solutions d'adaptation, notamment des approches fondées sur la nature, ainsi que la mise en place et la gestion d'aires protégées et de conservation autochtones (voir l'étude de cas 5.4) et la mise en œuvre de technologies et d'approches novatrices en matière de réduction des émissions de GES.

Étude de cas 5.4 : Maintien des écosystèmes et de leurs services grâce aux aires protégées et de conservation autochtones

Les aires protégées et de conservation autochtones (APCA) désignent les terres et les eaux où les gouvernements autochtones assument le rôle principal dans la conservation et le maintien des écosystèmes par le biais des lois, de la gouvernance et des systèmes de connaissances autochtones (voir la figure 5.14; Cercle autochtone d'experts, 2018). Ces lois et ces systèmes visent à soutenir les écosystèmes et la biodiversité tout en préservant les droits des Autochtones, notamment le droit d'exercer un consentement préalable, donné librement et en connaissance de cause. Les parcs tribaux, les paysages culturels autochtones, les aires protégées autochtones et les aires de conservation autochtones sont des exemples d'APCA.

La nécessité de restaurer le territoire et la culture est souvent une composante importante des APCA. Les peuples autochtones commencent à réclamer la restauration des terres qui ont été lourdement touchées par le développement industriel et la dégradation causée par les activités humaines. Partant du principe que les personnes, leur culture et leurs terres sont inséparables, des zones de restauration prioritaires sont définies pour la faune sauvage, ainsi que pour les valeurs culturelles dégradées. Les APCA peuvent également constituer des lieux sûrs et accueillants où les gens peuvent reprendre des forces et guérir d'un héritage de traumatismes intergénérationnels et du stress permanent causé par la perte biologique et culturelle, tout en approfondissant leur relation avec la terre et leur compréhension de celle-ci.

Le modèle des APCA est ancré dans l'exercice des droits autochtones reconnus par la Constitution, conformément aux lois autochtones. Le fait d'exercer un pouvoir sur la façon dont ces terres sont gérées, restaurées et protégées est conforme à l'article 35 de la Constitution du Canada, ainsi qu'aux déclarations internationales que le Canada s'est engagé à soutenir, comme la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones, et qui garantissent un espace où les collectivités peuvent pratiquer leur mode de vie autochtone. Le modèle est également conforme au Cadre stratégique fédéral pour l'adaptation du gouvernement du Canada, qui favorise la prise en compte des connaissances autochtones dans le processus décisionnel.

Les APCA peuvent également offrir des avantages importants aux Canadiens. L'augmentation du nombre d'aires protégées et de conservation au Canada et de leur étendue a des répercussions positives sur la biodiversité et les écosystèmes, ce qui contribue à protéger les services écosystémiques importants dont dépendent de nombreuses collectivités. Cependant, il reste beaucoup à faire pour que les APCA constituent une option viable pour protéger les zones naturelles et les mettre à l'abri des pressions liées au développement.

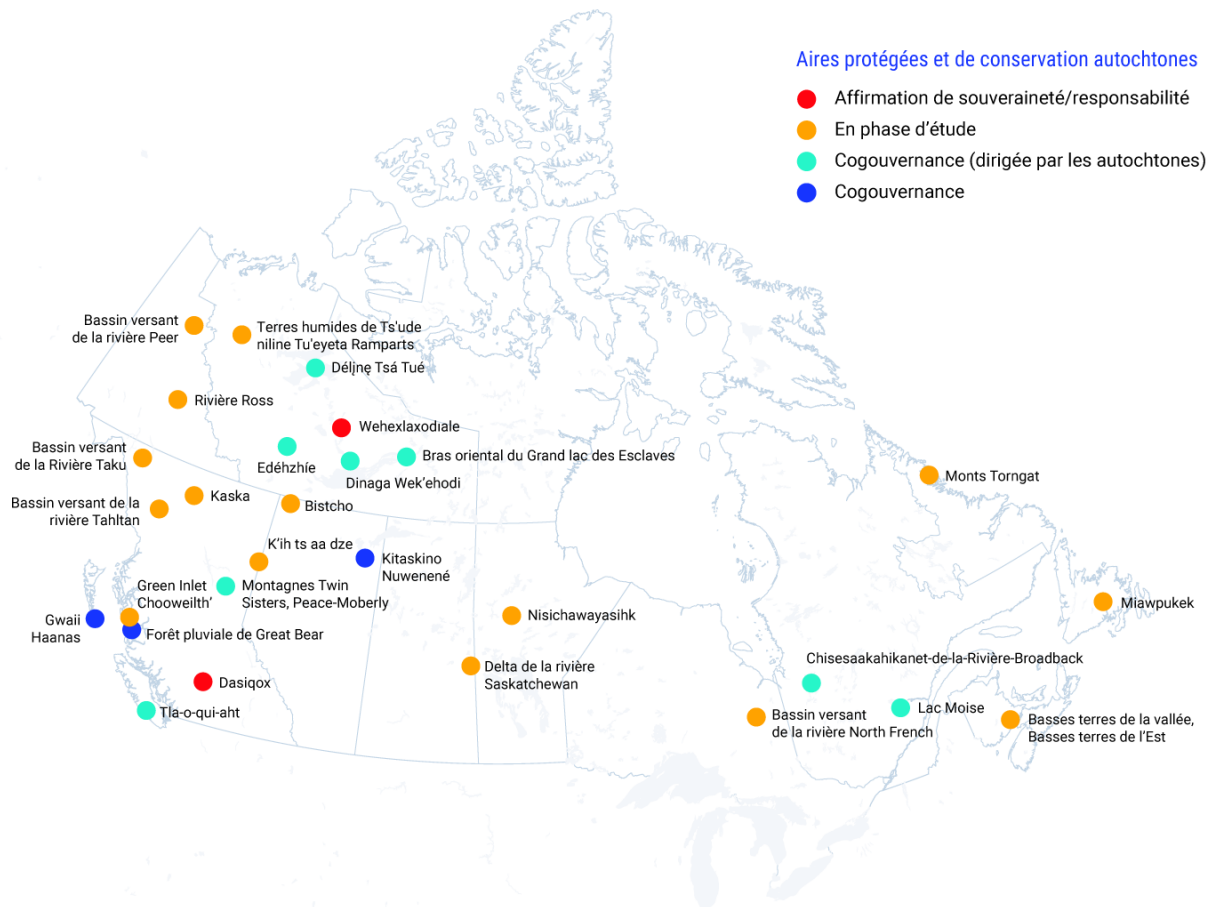


Figure 5.14 : Carte du Canada indiquant l'emplacement des aires protégées et de conservation autochtones existantes et projetées (notez que la carte n'est pas complète et que certaines aires sont manquantes ou contestées). Source : Adapté de la Fondation David Suzuki.

5.5 Les approches d'adaptation fondées sur la nature maximisent les avantages

Les approches d'adaptation fondées sur la nature réduisent les risques liés aux changements climatiques pour les collectivités et sont souvent plus rentables et souples que les solutions techniques. Elles offrent également de nombreux avantages connexes du point de vue social, environnemental et économique, et contribuent à renforcer la capacité d'adaptation des collectivités.

Au Canada, les approches fondées sur la nature pour l'adaptation aux changements climatiques suscitent un intérêt croissant. Les approches fondées sur la nature visant à faire face aux impacts des changements climatiques, telles que la restauration des marais, l'aménagement à faible impact du littoral et les forêts urbaines, sont très variées et offrent généralement des avantages considérables par rapport aux options d'adaptation techniques. De telles approches offrent une souplesse intégrée qui permet de tenir compte d'un plus grand degré d'incertitude quant aux conditions climatiques et environnementales futures, et il a été démontré qu'ils proposent une grande variété de retombées positives du point de vue social, environnemental et économique, maximisant ainsi le rendement global sur le capital investi. En outre, les approches fondées sur la nature contribuent à renforcer la capacité d'adaptation des collectivités auxquelles elles sont destinées, tout en réduisant les risques liés aux changements climatiques.

5.5.1 Introduction

Les écosystèmes et les approches d'adaptation fondées sur la nature peuvent jouer un rôle important dans la réduction des risques liés aux changements climatiques pour les collectivités en fournissant une capacité tampon, en renforçant la capacité d'adaptation de la société et des systèmes socioécologiques et en contribuant aux efforts de réduction des émissions de GES grâce au stockage du carbone (voir l'encadré 5.2). Cependant, le potentiel et les limites des approches d'adaptation fondées sur la nature ne sont généralement pas bien compris ou quantifiés (Malhi et coll., 2020).

5.5.2 Approches d'adaptation fondées sur la nature

Dans le contexte de la présente section, l'expression « approches fondées sur la nature » est utilisée en tant qu'expression terme générique pour désigner l'ensemble des approches d'adaptation qui sont en fonction des systèmes naturels, notamment les solutions fondées sur la nature, les infrastructures naturelles, les approches fondées sur les écosystèmes, la gestion des actifs naturels et les aires protégées. Ces approches reposent sur le fait que des écosystèmes sains, qu'ils soient naturels ou gérés, fournissent un large éventail de services qui profitent aux activités, à la santé et au bien-être des personnes. Elles favorisent également une certaine souplesse et l'apprentissage, ce qui est important lorsqu'on aborde l'incertitude et la complexité dans la prise de décision. Les approches d'adaptation fondées sur la nature constituent un domaine d'intérêt en pleine expansion au Canada et sont de plus en plus reconnues à l'échelle internationale. Des organisations

économiques et environnementales de premier plan, dont l'IPBES, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la Commission mondiale sur l'adaptation, les Nations unies et le Forum économique mondial, ne sont que quelques-uns des groupes qui ont avalisé cette approche.

Les approches fondées sur la nature englobent les stratégies qui intègrent la gestion des terres, de l'eau et des ressources vivantes (Convention sur la diversité biologique, 2020). De telles approches permettent aux décideurs de gérer les avantages multiples et de renforcer la résilience au changement en considérant les écosystèmes dans leur ensemble. Par exemple, la gestion des forêts pour la seule production de bois générerait des résultats différents que si elle était également axée sur la biodiversité et les espèces en péril, tout en tenant compte de l'érosion et de la séquestration du carbone. De même, une approche fondée sur la nature pour les produits de la mer à valeur commerciale tient compte de l'éventail des interactions au sein des écosystèmes côtiers et entre eux.

De multiples avantages peuvent être tirés de l'utilisation d'approches fondées sur la nature, tant pour l'adaptation aux changements climatiques que pour la réduction des émissions de GES, notamment (voir la figure 5.15; IIDD, 2019; Raymond et. coll., 2017) :

- la réduction des impacts des inondations;
- la protection contre les ondes de tempête et les marées salines;
- la fourniture d'un habitat et la préservation de la biodiversité;
- la séquestration du carbone;
- la protection contre l'érosion;
- l'atténuation de la sécheresse;
- la régulation du débit de l'eau et de l'approvisionnement en eau;
- l'amélioration de l'attractivité des lieux;
- l'amélioration de la santé, du bien-être et de la qualité de vie;
- la création d'emplois verts.

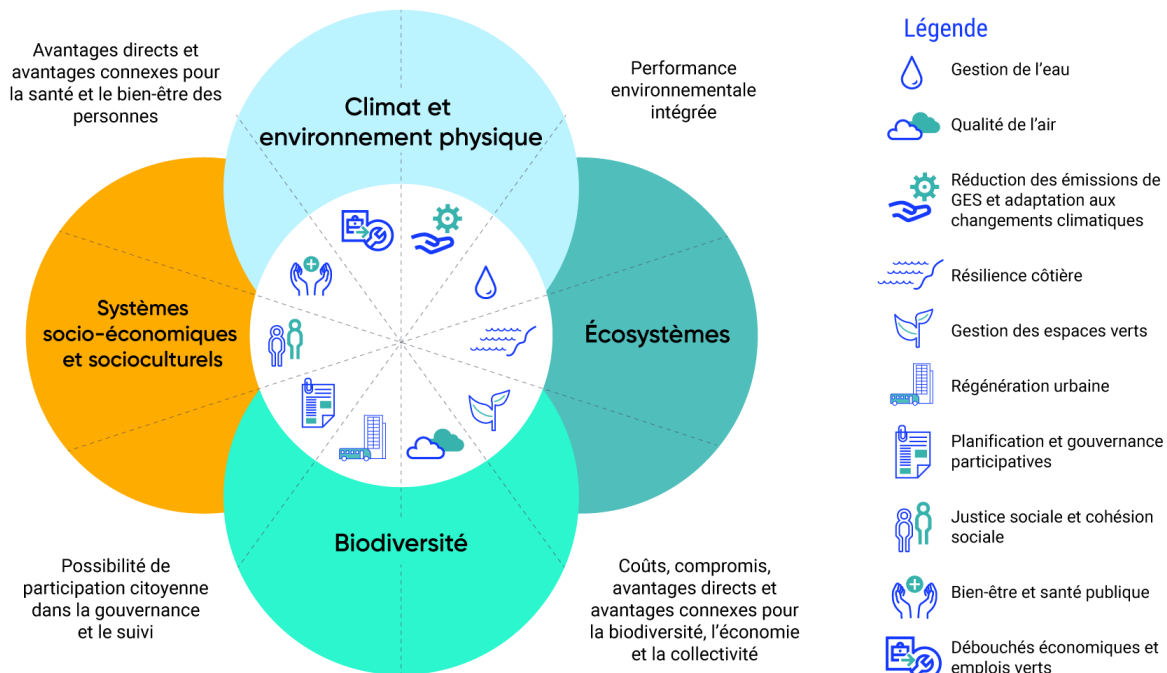


Figure 5.15 : Cadre utilisé par Raymond et coll. (2017) pour l'évaluation des avantages connexes des approches fondées sur la nature. Source : Adapté de Raymond et coll., 2017.

Le rôle des approches fondées sur la nature évolue rapidement, à mesure que l'intérêt pour ces approches et la base de connaissances augmentent. Cette section aborde différents types d'approches fondées sur la nature et comprend une série d'études de cas décrivant ces approches dans la pratique. Les évaluations futures s'appuieront sur un ensemble plus solide de connaissances existantes et aborderont le sujet plus en détail.

5.5.2.1 Restauration de marais en réponse à l'élévation du niveau de la mer

La restauration des zones riveraines et des tampons fluviaux favorise l'infiltration de l'eau, réduit l'érosion et régule la disponibilité de l'eau tout au long de la saison. Les municipalités sont de plus en plus nombreuses à acquérir et à restaurer des terrains dans les plaines inondables (voir l'étude de cas 5.5), ainsi qu'à restreindre le développement en zones inondables par la réglementation des assurances (p. ex. à Montréal). Par exemple, le marais de Tantramar, près de Sackville (N.-B.), est une zone importante sur le plan écologique et culturel qui est menacée par l'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des inondations intérieures (Wilson et coll., 2012). Des infrastructures traditionnelles sont installées sous forme de digues pour atténuer les inondations, parallèlement à la restauration des marais salés, ce qui constitue une approche d'adaptation fondée sur la nature. Les marais salés restaurés peuvent offrir une protection flexible contre certains impacts des changements climatiques (voir l'étude de cas 5.1 et l'étude de cas 5.5; van Proosdij et coll., 2016).

En plus de répondre aux préoccupations relatives au niveau de l'eau, les marais salés offrent un habitat aux oiseaux et aux espèces marines, piègent les sédiments et distribuent des nutriments aux principales espèces côtières (Deegan et coll., 2012). Reconnaisant le rôle important des terres humides dans la lutte contre les changements climatiques et leurs impacts, 1,8 million de dollars provenant du Fonds pour la restauration côtière du gouvernement fédéral de 75 millions de dollars a été versé en 2018 pour la poursuite de la restauration des terres humides et des marais sur 75 hectares dans la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick.

Étude de cas 5.5 : Restauration des marais côtiers et de leurs services écosystémiques à Truro (Nouvelle-Écosse)

Les marais côtiers constituent la première ligne de défense lors des tempêtes violentes; toutefois, le développement des côtes de la Nouvelle-Écosse a entraîné la perte de près de 85 % des marais côtiers (Hanson et Calkins, 1996). Dans la partie supérieure de la baie de Fundy (la zone où l'amplitude des marées est la plus importante au monde), l'élévation prévue du niveau de la mer, dans le cadre d'un scénario à fortes émissions, est de près de 1,2 m d'ici 2100 (Greenberg et coll., 2012). Une grande partie de la perte de terres humides peut être attribuée aux mesures de protection côtière dures (telles que les digues, les bermes et le blindage du littoral), qui commencent déjà à ne plus fonctionner face aux ondes de tempête actuelles et à l'élévation du niveau de la mer (Sherren et coll., 2019).

Truro, en Nouvelle-Écosse, est une ville de 12 000 habitants, située sur la plaine inondable de la rivière Salmon qui se jette dans la baie de Fundy, et fait partie d'un vaste réseau de digues le long de la rivière Salmon. À l'origine, ces digues ont été construites pour protéger les terres agricoles des inondations. Cependant, en raison de l'augmentation du développement au fil des ans, ils protègent désormais également des infrastructures résidentielles, commerciales et de transport (Sherren et coll., 2019). La confluence de la rivière Salmon et de la rivière North crée des schémas complexes de mouvement des eaux, de sédiments et de glace dans la région, ce qui rend ce site très difficile à gérer et entraîne des coûts d'entretien élevés pour les infrastructures des digues et des aboiteaux (Sherren et coll., 2019). Bien que Truro connaisse des inondations fréquentes et graves en raison des effets combinés de l'accumulation des eaux de pluie, des marées hautes et des embâcles, une inondation en particulier aura causé des dommages considérables. En effet, l'inondation de 2012 a ouvert des brèches dans une digue à plusieurs endroits, ce qui a entraîné des dommages importants aux infrastructures. La province de la Nouvelle-Écosse a effectué des réparations d'urgence sur la digue, mais on s'inquiète de l'entretien et de la fiabilité à long terme du système de digues (Cottar, 2019).

Afin d'assurer la protection à long terme de la collectivité et de maintenir l'écosystème côtier, un comité consultatif mixte sur les inondations, composé de représentants du comté de Colchester, de la ville de Truro, de la Première Nation de Millbrook, des ministères provinciaux et du public, a été formé. Le comité a commandé une étude complète des risques d'inondation à Truro, laquelle a recommandé plusieurs options en vue de réduire les risques d'inondation (CBCL Ltd., 2017). Parmi les options proposées, aucune solution unique ne s'est avérée efficace et aucune mesure dont le coût est inférieur à 100 millions de dollars canadiens n'a permis de protéger plus de 20 % des zones prioritaires (Sherren et coll., 2019). Pour

ces raisons, les parties prenantes ont décidé d'opter pour un retrait géré, permettant le raccourcissement et le réalignement de la digue et la restauration du marais côtier (voir la figure 5.16). Le marais côtier restauré favorisera une série de services écosystémiques, tels que l'habitat de reproduction des poissons, la protection contre les tempêtes et la séquestration du carbone, pour n'en citer que quelques-uns (ICF, 2018). On estime que dans les trois ans suivant la modification, le marais côtier restauré de North Onslow agira comme un habitat de marais salé quasi optimal et régulera les services écosystémiques (p. ex. en agissant comme un tampon contre les tempêtes).

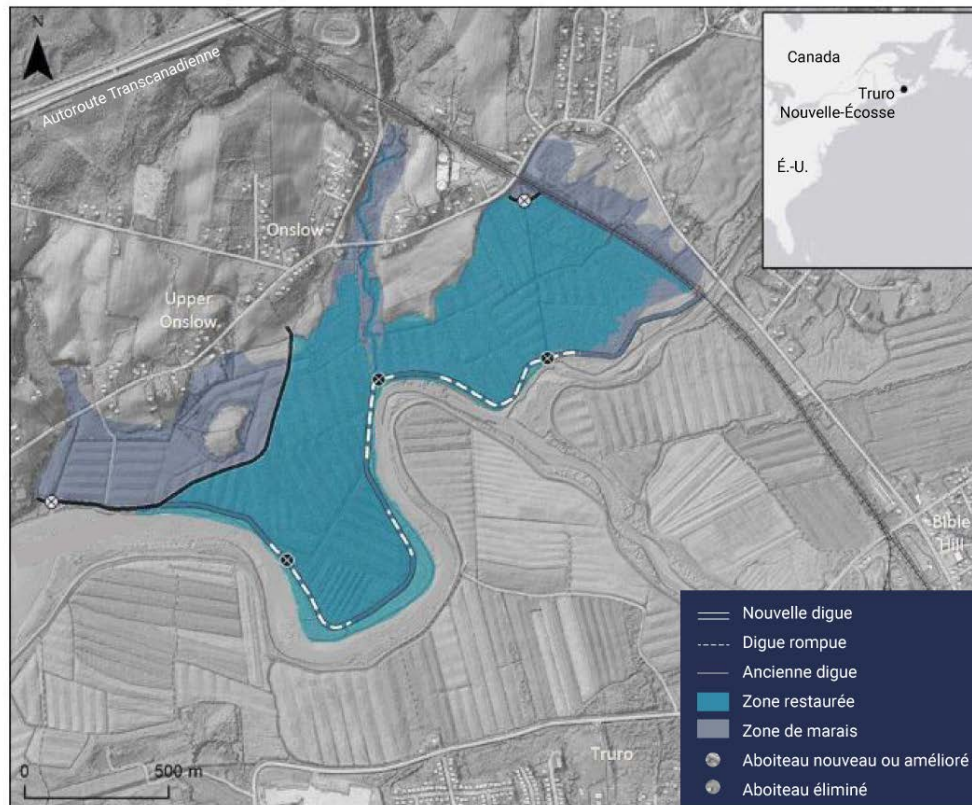


Figure 5.16 : Carte du marais North Onslow à Truro, en Nouvelle-Écosse, illustrant l'étendue de la zone à restaurer en tant que marais côtier. Source : Adapté de Sherren et coll., 2019.

5.5.2.2 Aménagement des berges à faible impact écologique

L'aménagement des berges à faible impact écologique est une approche qui peut être utilisée par les propriétaires et les gestionnaires de propriétés riveraines pour aménager leurs terrains de manière respectueuse des berges et de façon à préserver ou de restaurer les processus physiques, de maintenir ou d'améliorer la fonction et la diversité des habitats le long des berges, de prévenir ou de réduire les polluants qui atteignent le milieu aquatique et d'éviter ou de réduire les impacts cumulatifs (Green Shores, 2021). En

Colombie-Britannique, le programme Green Shores, un programme d'évaluation volontaire fondé sur des mesures incitatives, offre de la formation, des conseils en matière de crédit et d'évaluation, ainsi qu'une certification pour l'aménagement naturel des berges qui réduit les impacts sur les écosystèmes et augmente la résilience aux changements climatiques (voir l'étude de cas 5.6).

Étude de cas 5.6 : Promouvoir un aménagement des berges respectueux des écosystèmes grâce au programme Green Shores

Une grande partie du littoral canadien est aménagée, ce qui a des répercussions sur la santé globale des écosystèmes littoraux et les services qu'ils fournissent. Avec les changements climatiques, les côtes et les collectivités côtières du Canada sont vulnérables aux impacts des changements climatiques, tels que l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête, les inondations et l'érosion accrue. Il est de plus en plus reconnu que les structures « dures » ou techniques ne constituent pas toujours à elles seules les approches les plus appropriées ou les plus rentables pour réduire ces risques. Des programmes comme Green Shores et l'Initiative des actifs naturels municipaux (IANM) contribuent à la base de connaissances sur l'efficacité des approches fondées sur la nature pour faire face aux impacts des changements climatiques sur les écosystèmes côtiers, et plusieurs programmes au Canada soutiennent maintenant la mise en œuvre de berges naturelles dans les zones aménagées (Eyzaguirre et coll., 2020).

Le Stewardship Centre for British Columbia (SCBC) dirige le programme Green Shores, un programme d'évaluation volontaire et fondé sur des mesures incitatives qui vise à réduire l'impact du développement résidentiel sur les écosystèmes riverains (SCBC, s.d.). Ce programme offre un renforcement des capacités, des outils et des normes de pratiques exemplaires pour encourager des approches d'aménagement du littoral qui protègent les terres contre les inondations et l'érosion (en tenant compte de l'élévation prévue du niveau de la mer d'un mètre ou plus d'ici 2100 pour les littoraux côtiers), augmentent la capacité d'accès aux littoraux pour les loisirs, et maintiennent et restaurent les habitats naturels (Eyzaguirre et coll., 2020).

En 2018, le SCBC et ESSA Technologies Itée ont publié les conclusions d'une étude conjointe sur l'impact et la valeur sociale, environnementale et économique du programme Green Shores. Le rapport de l'étude comprenait des recommandations sur la façon d'améliorer la mise en œuvre du programme en Colombie-Britannique, ainsi que des stratégies visant à ce que le programme soit offert au Canada atlantique. Parmi les recommandations visant à améliorer la réalisation des programmes, citons (Eyzaguirre et coll., 2020) les suivantes :

- intégrer des mesures incitatives appropriées pour les propriétaires fonciers (p. ex. le paiement des services écosystémiques ou des modèles utilisateur-payeur);
- renforcer les liens avec d'autres acteurs du changement dans le système (p. ex. en repérant les zones de chevauchement et les outils complémentaires avec des leaders tels que l'IANM);
- offrir des formations et des activités de sensibilisation ciblées pour surmonter les obstacles et saisir les occasions (p. ex. travailler avec les entrepreneurs pour améliorer le partage

des renseignements sur l'intégration de la protection douce du littoral dans les projets de développement);

- améliorer la surveillance des projets de Green Shores actuels et prévus et en tirer des enseignements afin d'accroître l'acceptation des approches douces et hybrides de gestion du littoral (p. ex. en améliorant le suivi à long terme des projets).

De plus, le rapport présente plusieurs projets fructueux qui ont vu le jour grâce au programme Green Shores, notamment le projet de restauration de l'habitat riverain du parc New Brighton à Vancouver, en Colombie-Britannique (Eyzaguirre et coll., 2020). Ce projet, qui a obtenu la cote « or » dans le cadre du programme Green Shores, consistait à allonger le rivage original de 150 m à 440 m en créant des chenaux de marais intertidaux (voir la figure 5.17). L'étude comportait aussi une analyse économique du projet, qui a révélé que pour chaque dollar dépensé, le bien-être social augmentait de 2,50 dollars (Eyzaguirre et coll., 2020).

Les conclusions de ce rapport s'ajoutent aux preuves de plus en plus nombreuses concernant les avantages socio-économiques de l'utilisation d'approches fondées sur la nature pour promouvoir une gestion plus durable et plus résiliente des berges au Canada.

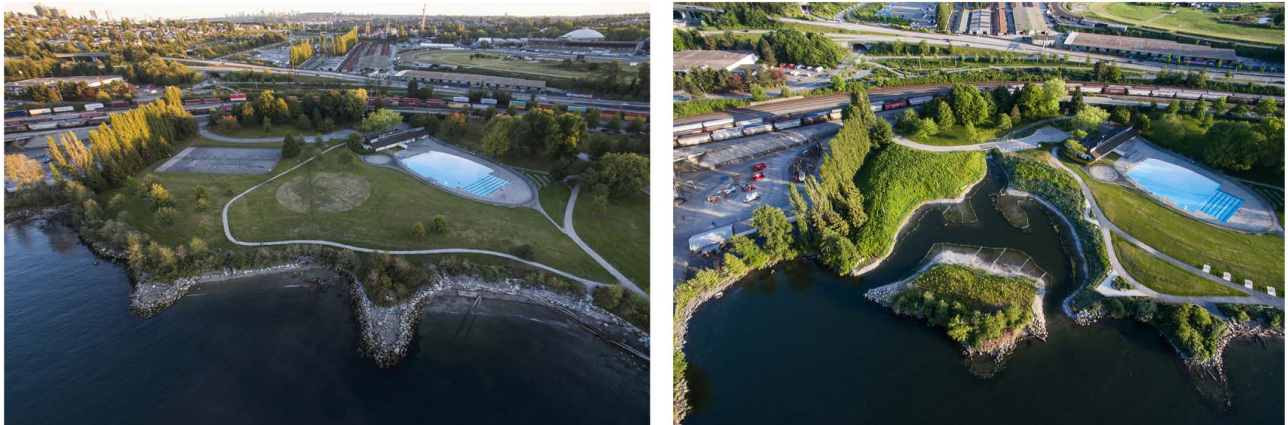


Figure 5.17 : Photos du projet de restauration de l'habitat riverain du parc New Brighton à Vancouver, en Colombie-Britannique, avant le début du projet et en 2018, une fois le projet terminé. Les photos sont une gracieuseté de l'autorité portuaire Vancouver-Fraser.

5.5.2.3 Forêts urbaines

Les forêts urbaines fournissent des services écosystémiques d'une valeur évaluée à 330 millions de dollars par an pour Halifax, Montréal, Vancouver et Toronto, sans compter la valeur associée au tourisme, aux loisirs ou à l'augmentation de la valeur des propriétés (Alexander et DePratto, 2014). Ils offrent aussi de nombreux avantages et peuvent contribuer à réduire les effets associés aux impacts des changements climatiques (voir l'étude de cas 5.7 et le chapitre « [Villes et milieux urbains](#) »), tels que la hausse des températures et les

vagues de chaleur (Sinnott, 2018; Brandt et coll., 2016; Livesley et coll., 2016; Rahman et coll., 2015), tout en emmagasinant l'eau et en réduisant le ruissellement des eaux de pluie (Berland et coll., 2017; Bartens et coll., 2008) et en contribuant à la séquestration du carbone (Nowak et Crane, 2001). Ces forêts offrent également un certain nombre d'avantages sociaux et économiques (Bardekjian, 2018). Parmi ceux-ci :

- promouvoir l'activité physique grâce à la création d'espaces de loisirs et d'un environnement extérieur attrayant;
- favoriser le bien-être mental et la réduction du stress;
- promouvoir les interactions sociales et le sens de la collectivité, notamment en renforçant les liens avec les voisins, le sentiment de sécurité et l'utilisation des espaces publics extérieurs;
- rendre les villes plus belles et masquer les éléments peu attrayants comme les murs, les autoroutes et les stationnements;
- réduire la pollution atmosphérique et fournir de l'oxygène;
- contribuer à fournir un habitat aux espèces sauvages et à préserver la biodiversité.

Étude de cas 5.7 : Lutte contre les îlots de chaleur urbains à Kingston, en Ontario, en augmentant les forêts urbaines

Les centres urbains du Canada devraient connaître une augmentation du nombre annuel de jours de chaleur extrême (plus de 30 °C) en raison des changements climatiques (Atlas climatique du Canada, 2019), ce qui entraînera nombre de répercussions sur la santé des Canadiens. De nombreuses surfaces urbaines continuent de rayonner la chaleur captée tout au long de la journée, ce qui peut entraîner une différence pouvant atteindre 12 °C entre les villes et leurs zones environnantes la nuit (Atlas climatique du Canada, 2019). Les zones urbaines ont également tendance à avoir moins d'arbres et moins de végétation, qui fournissent d'importants services de refroidissement grâce à l'ombrage et à une évapotranspiration plus importante.

Pour aider à lutter contre l'effet d'îlot de chaleur, la ville de Kingston, en Ontario, a publié en 2011 son plan de gestion des forêts urbaines (SENES Consultants Itée, 2011). L'objectif du plan était d'établir des lignes directrices et des mesures permettant à la ville de maintenir son couvert forestier urbain actuel (21 % de couvert en 2009), de soutenir l'expansion de la forêt urbaine et d'assurer sa préservation à long terme conformément à la vision de l'horizon de 25 ans du plan. L'objectif du plan officiel de la ville est d'atteindre une couverture forestière urbaine de 30 % (au minimum) d'ici 2025 (Ville de Kingston, 2019). On estime que la forêt urbaine de Kingston génère environ 1,87 million de dollars par an en avantages environnementaux (SENES Consultants Itée, 2011). L'augmentation du couvert forestier urbain contribuera non seulement à réduire l'effet d'îlot de chaleur à Kingston, mais aussi :

- à fournir de l'ombre pour les bâtiments en été;
- à fournir un habitat pour les animaux;



- à assurer la filtration de la pollution atmosphérique;
- à assurer la filtration et la réduction de la quantité d'eau de ruissellement;
- à permettre la stabilisation des berges le long des cours d'eau ouverts;
- à offrir des brise-vent naturels;
- à embellir la ville.

Le succès du plan de gestion de la forêt urbaine est soutenu par d'autres politiques et mesures de la ville de Kingston, notamment son plan officiel, sa stratégie de protection contre la sécheresse, son règlement sur les arbres et un système d'alerte d'arrosage des arbres pour faire participer les citoyens (Ville de Kingston, 2021). La création d'un conseil consultatif sur les arbres composé d'intervenants locaux et de représentants de l'autorité locale de conservation et de Parcs Canada a également contribué à la mise en œuvre du plan (Guilbault, 2016).

5.5.2.4 Couloirs de verdure et ceintures vertes en zones urbaines

Plusieurs centres urbains canadiens (p. ex. la région de la capitale nationale à Ottawa, en Ontario, Calgary, en Alberta, Saskatoon, en Saskatchewan, et la région du Grand Toronto, en Ontario) ont aménagé des voies vertes afin de conserver les espaces verts et de maintenir les écosystèmes de la région et les services qu'ils fournissent (voir l'étude de cas 5.8).

Étude de cas 5.8 : Services écosystémiques offerts par la ceinture de verdure de l'Ontario

Dans le sud de l'Ontario, zone urbaine en plein essor où vit plus d'un tiers de la population canadienne, on s'inquiète des risques liés au développement pour les forêts, les terres humides et les terres agricoles, qui constituent des sources d'approvisionnement alimentaire, de séquestration du carbone, de filtration de l'eau et fournissent des habitats essentiels, notamment pour les espèces en péril. La *Loi sur la ceinture de verdure du gouvernement de l'Ontario* (2005) a conduit à l'élaboration d'un plan d'aménagement du territoire couvrant 7 200 km², qui s'étend sur 325 km, de l'extrémité est de la moraine d'Oak Ridges à l'est à la rivière Niagara à l'ouest (Ministère des Affaires municipales, 2017).

Bien que la Ceinture de verdure de l'Ontario ait été créée principalement pour empêcher l'étalement urbain, elle s'inscrit dans la Stratégie de l'Ontario en matière de changements climatiques (2015). La ceinture de verdure, bien que sensible aux changements climatiques, joue également un rôle en faveur de l'adaptation en contribuant à protéger la biodiversité, en permettant à l'agriculture et aux systèmes alimentaires de s'adapter aux changements climatiques et en offrant un refuge contre la chaleur des centres urbains (Friends of the

Greenbelt Foundation, 2011). Même si les évaluations des écosystèmes varient dans leurs méthodologies, une étude a estimé la valeur des services écosystémiques supplémentaires fournis par la Ceinture de verdure (ce qui comprend les loisirs, la séquestration du carbone et la protection des propriétés privées contre les inondations) à plus de 3,2 milliards de dollars par an (Green Analytics, 2016).

5.5.2.5 Approches fondées sur la nature en comparaison aux approches techniques

Alors que l'adaptation est souvent associée à des innovations technologiques ou à de nouvelles infrastructures, l'entretien et la gestion stratégique des systèmes naturels peuvent donner des résultats similaires, moins coûteux que les options techniques et offrant souvent des avantages supplémentaires dépassant le cadre du problème ciblé (Shreve et Kelman, 2014). Selon des synthèses récentes, les habitats restaurés pour la protection des côtes (p. ex. les marais salés et les mangroves) constituent des solutions de rechanges économiques aux infrastructures traditionnelles, avec des coûts nettement inférieurs pour certains habitats (Morris et coll., 2018; Narayan et coll., 2016).

Une étude réalisée en 2014 a évalué l'efficacité de trois approches « douces » ou fondées sur la nature en Colombie-Britannique pour faire face à l'élévation du niveau de la mer, en comparaison avec des approches « dures » ou techniques tout aussi appropriées (Lamont et coll., 2014). Les approches « douces » en question comprenaient des solutions de rechange, comme l'ajout de sable de reconstitution sur les plages et le réapprovisionnement des berges, l'utilisation d'éléments rocheux intertidaux situés à proximité du rivage et l'utilisation d'une série de plages de caps pour la préservation d'une plage conventionnelle. L'étude a révélé que, dans les trois cas, les solutions de rechange « douces » offraient un avantage significatif en matière de coûts par rapport aux solutions de rechange « dures », avec une économie allant de 30 % à 70 % du coût de la solution « dure » (Lamont et coll., 2014). Vous trouverez d'autres exemples d'analyse coûts-avantages au chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) ».

Le document « Green infrastructure : Guide for water management » (Guide de l'infrastructure verte pour la gestion de l'eau) traite des approches de gestion écosystémique pour les projets d'infrastructure liés à l'eau (PNUE, 2014). Le guide décrit les approches fondées sur la nature qui sont pertinentes pour la gestion des ressources en eau. Celles-ci comprennent également des approches qui sont constituées d'éléments construits ou « gris », qui interagissent avec les caractéristiques naturelles pour optimiser les services écosystémiques liés à l'eau (voir le tableau 5.2; PNUE, 2014). À l'échelle municipale, l'approche de gestion des actifs naturels a également gagné en popularité ces dernières années (voir l'étude de cas 5.9 et le chapitre « [Villes et milieux urbains](#) »).

Tableau 5.2 : Approches de gestion des ressources en eau fondées sur la nature

ENJEU RELATIF À LA GESTION DE L'EAU (SERVICE PRIMAIRE À FOURNIR)	SOLUTION D'INFRASTRUCTURE VERTE	EMPLACEMENT				SOLUTION D'INFRASTRUCTURE GRISE CORRESPONDANTE (AU NIVEAU DU SERVICE PRIMAIRE)
		BASSIN VERSANT	PLAINE INONDABLE	RÉGIONS URBAINES	RÉGIONS CÔTIÈRES	
Régulation de l'approvisionnement en eau (y compris l'atténuation de la sécheresse)	Reboisement et conservation des forêts	■				<ul style="list-style-type: none"> • Barrages et pompage des eaux souterraines • Systèmes de distribution d'eau
	Rétablissement des liens entre les rivières et les plaines inondables		■			
	Restauration/conservation des terres humides	■	■	■		
	Construction de terres humides	■	■	■		
	Collecte des eaux*	■	■	■		
	Espaces verts (biorétention et infiltration)			■		
	Revêtements perméable*			■		
Régulation de la qualité de l'eau	Épuration des eaux	Reboisement et conservation des forêts	■			Station d'épuration des eaux
		Zones tampons riveraines		■		



ENJEU RELATIF À LA GESTION DE L'EAU (SERVICE PRIMAIRE À FOURNIR)	SOLUTION D'INFRASTRUCTURE VERTE	EMPLACEMENT				SOLUTION D'INFRASTRUCTURE GRISE CORRESPONDANTE (AU NIVEAU DU SERVICE PRIMAIRE)	
		BASSIN VERSANT	PLAINE INONDABLE	RÉGIONS URBAINES	RÉGIONS CÔTIÈRES		
Régulation de la qualité de l'eau (continué)	Rétablissement des liens entre les rivières et les plaines inondables					Station d'épuration des eaux	
	Restauration/conservation des terres humides						
	Construction de terres humides						
	Espaces verts (biorétention et infiltration)						
	Revêtements perméable*						
	Contrôle de l'érosion	Reboisement et conservation des forêts					Renforcement des pentes
		Zones tampon riveraines					
		Rétablissement des liens entre les rivières et les plaines inondable					
	Contrôle biologique	Reboisement et conservation des forêts					Station d'épuration des eaux
		Zones tampons riveraines					



ENJEU RELATIF À LA GESTION DE L'EAU (SERVICE PRIMAIRE À FOURNIR)	SOLUTION D'INFRASTRUCTURE VERTE	EMPLACEMENT				SOLUTION D'INFRASTRUCTURE GRISE CORRESPONDANTE (AU NIVEAU DU SERVICE PRIMAIRE)	
		BASSIN VERSANT	PLAINE INONDABLE	RÉGIONS URBAINES	RÉGIONS CÔTIÈRES		
Régulation de la qualité de l'eau	Contrôle biologique (continué)	Rétablissement des liens entre les rivières et les plaines inondables					Station d'épuration des eaux
		Restauration/conservation des terres humides					
		Construction de terres humides					
	Contrôle de la température de l'eau	Reboisement et conservation des forêts					Barrages
		Zones tampons riveraines					
		Rétablissement des liens entre les rivières et les plaines inondables					
		Restauration/conservation des terres humides					
		Construction de terres humides					
		Espaces verts (ombrage des cours d'eau)					



ENJEU RELATIF À LA GESTION DE L'EAU (SERVICE PRIMAIRE À FOURNIR)	SOLUTION D'INFRASTRUCTURE VERTE	EMPLACEMENT				SOLUTION D'INFRASTRUCTURE GRISE CORRESPONDANTE (AU NIVEAU DU SERVICE PRIMAIRE)
		BASSIN VERSANT	PLAINE INONDABLE	RÉGIONS URBAINES	RÉGIONS CÔTIÈRES	
Atténuation des phénomènes extrêmes (inondations)	Maîtrise des inondations fluviales	Reboisement et conservation des forêts	■			Barrages et digues
		Zones tampons riveraines		■		
		Rétablissement des liens entre les rivières et les plaines inondables		■		
		Restauration/conservation des terres humides	■	■	■	
		Construction de terres humides	■	■	■	
		Mise en place de systèmes de détournement des eaux de crue		■		
Ruissellement des eaux pluviales urbaines		Toits verts			■	Infrastructures de gestion des eaux pluviales urbaines
		Espaces verts (biorétention et infiltration)			■	
		Collecte des eaux*	■	■	■	
		Revêtements perméables*			■	

ENJEU RELATIF À LA GESTION DE L'EAU (SERVICE PRIMAIRE À FOURNIR)		SOLUTION D'INFRASTRUCTURE VERTE	EMPLACEMENT				SOLUTION D'INFRASTRUCTURE GRISE CORRESPONDANTE (AU NIVEAU DU SERVICE PRIMAIRE)
			BASSIN VERSANT	PLAINE INONDABLE	RÉGIONS URBAINES	RÉGIONS CÔTIÈRES	
Atténuation des phénomènes extrêmes (inondations) (continué)	Contrôle des inondations côtières (ondes de tempête)	Protection/restauration des mangroves, des marais côtiers et des dunes					Ouvrages longitudinaux (brise-mer)
		Protection/restauration des récifs (corail/huître)					

Remarque : Les solutions d'infrastructure verte marquées d'un « * » consistent en un hybride d'éléments « verts » et « gris » qui interagissent pour optimiser les services écosystémiques.

Source : UNEP, 2014.

Étude de cas 5.9 : Gestion des actifs naturels municipaux et prestation de services

L'Initiative des actifs naturels municipaux (IANM) a été créée en 2016 afin de peaufiner, de mettre à l'essai et d'appliquer à plus grande échelle le travail de gestion des actifs naturels qui a été lancé pour la première fois par la ville de Gibsons, en Colombie-Britannique. L'initiative modifie la façon dont les municipalités de partout au Canada fournissent des services et accroissent la qualité et la résilience des infrastructures naturelles face aux changements climatiques, à moindre coût et à moindre risque.

L'IANM teste la manière de gérer les actifs naturels tels que les boisés, les terres humides et les ruisseaux en zones urbaines dans le cadre d'une stratégie d'infrastructure durable. Cette approche permet de déterminer la valeur des actifs naturels et de tenir compte de leur contribution à la prestation des services municipaux – des services qui, autrement, devraient être fournis par des actifs techniques construits. Les actifs naturels municipaux sont définis par l'IANM comme étant le capital de ressources naturelles ou d'écosystèmes qu'une collectivité, un district régional ou toute autre forme de gouvernement local pourrait compter ou gérer pour la provision durable d'un ou plusieurs services gouvernementaux locaux.

De nouvelles approches de gestion des actifs naturels sont motivées par le déclin des infrastructures urbaines, dont le remplacement est coûteux, par le déclin spectaculaire des écosystèmes naturels et par l'urgence de relever les défis en matière d'infrastructures face à l'augmentation de la population et aux impacts des changements climatiques, tels que les inondations et les sécheresses. Les gouvernements locaux canadiens qui cherchent de nouvelles stratégies permettant de mieux fournir des services de base d'une manière financièrement viable se tournent vers la gestion des actifs.

Les résultats de l'IANM laissent entendre qu'une approche fondée sur la gestion des actifs est très prometteuse pour relever le double défi de la détérioration des infrastructures urbaines et du déclin de la santé des écosystèmes. Par exemple, le tableau 5.3 donne un aperçu des services municipaux liés à l'eau qui pourraient être fournis par des actifs naturels et des services écosystémiques, plutôt que par des approches techniques.

La vision des actifs naturels selon le cycle de vie de l'IANM comprend la réalisation d'un inventaire des actifs existants d'une collectivité donnée, la détermination de l'état actuel et de la valeur de ces actifs, et la mise en œuvre de plans de gestion des actifs pour les préserver ou les remplacer. L'accent est mis sur la gestion des actifs pour la fourniture de services durables, par opposition aux actifs sous-jacents qui fournissent ces services. Cela signifie que le capital naturel peut constituer un élément central des stratégies de gestion des actifs municipaux.

L'équipe de l'IANM a élaboré une méthodologie et des documents d'orientation pour aider les gouvernements locaux à recenser, à évaluer et à gérer les actifs naturels dans les cadres traditionnels de planification financière et de gestion des actifs. Les premiers résultats provenant de collectivités faisant partie des diverses cohortes à travers le pays sont encourageants et soutiennent ce concept. Par exemple, l'aquifère de Gibsons s'est avéré être un réservoir d'eau suffisant pour approvisionner environ 70 % de la population prévue de la ville dans un avenir prévisible (Waterline Resources inc., 2013), sans coût d'investissement et avec des coûts d'exploitation de 30 000 \$ par an pour la surveillance, soit une fraction du coût des infrastructures techniques d'approvisionnement en eau.

Les collectivités de la première cohorte, soit la ville de Nanaimo (C.-B.), la ville de Grand Forks (C.-B.), le district de West Vancouver (C.-B.), la région de Peel (Ont.) et la ville d'Oakville (Ont.), ont évalué la valeur des services liés aux eaux pluviales fournies par un actif naturel selon divers scénarios. Bien que les résultats de chacun des projets soient uniques, ils permettent de tirer certaines conclusions communes clés : on a constaté que les actifs naturels fournissent des services de gestion des eaux pluviales équivalents à ceux des actifs techniques, et toutes les collectivités ont constaté que leur actif naturel d'intérêt répondait au moins aux exigences de stockage des crues centennales selon les normes actuelles. Il a également été constaté que la valeur des actifs naturels augmentait dans les scénarios associés à la fois aux changements climatiques et à l'intensification du développement. Dans l'ensemble, les premiers résultats de l'IANM démontrent que les valeurs des services écosystémiques nouvellement reconnues permettent aux collectivités locales de mieux comprendre en quoi la nature contribue à la prestation de services municipaux et influence la prise de décision.

Tableau 5.3 : Exemples de services municipaux liés à l'eau qui peuvent être fournis par des actifs naturels et des services écosystémiques

SERVICES MUNICIPAUX RELATIFS À L'EAU	SERVICE ÉCOSYSTÉMIQUE	ACTIFS NATURELS	TECHNOLOGIE DE REMPLACEMENT
Alimentation en eau potable	Réalimentation de l'aquifère	Aquifère et zone de source d'eau	Tuyaux pour l'alimentation en eau, station d'épuration des eaux
	Recharge des lacs	Bassin versant de lac	
	Eaux d'amont de rivière	Terres d'amont	
Traitement de l'eau potable	Épuration des eaux	Terres humides, forêts, végétation	Station d'épuration des eaux
	Filtration de l'eau		
Gestion des eaux pluviales	Absorption des eaux de pluie	Terres humides, forêts, végétation	Conduites d'égout pluvial, ponceaux, collecteurs d'eaux pluviales, bassin de retenue des eaux pluviales
	Filtration des eaux de pluie		Station d'épuration des eaux
Réduction des risques d'inondation	Absorption des eaux de pluie	Terres humides, forêts, végétation	Barrages, murs de soutènement, levées de terrain

Source : Adapté de MNAI, 2019.

5.6 Aller de l'avant

Un certain nombre de nouveaux enjeux, de lacunes dans les connaissances et de besoins en matière de recherche sont liés à la manière dont les changements climatiques affectent les services écosystémiques, et à la manière avec laquelle nous pouvons intégrer les considérations relatives aux services écosystémiques et les possibilités d'adaptation dans la planification des changements climatiques.

5.6.1 Lacunes dans les connaissances

Bien que des recherches sur la biodiversité et les services écosystémiques soient en cours dans tout le pays, il existe des domaines dans lesquels des connaissances supplémentaires sont nécessaires.

5.6.1.1 Impacts des changements climatiques sur les écosystèmes et leurs services

Il est difficile d'anticiper tous les effets qu'auront les changements climatiques sur chaque espèce, les interactions entre les espèces et les changements dans les processus et les fonctions des écosystèmes, et comment ces divers changements se traduiront par des impacts sur les services écosystémiques, compte tenu de la complexité des écosystèmes.

Des études supplémentaires sont également nécessaires pour mieux comprendre comment l'évolution des services écosystémiques dans un climat en changement affectera les populations qui en dépendent pour leurs moyens de subsistance, leur santé et leur bien-être. Des évaluations complètes de la vulnérabilité aux changements dans les services écosystémiques et de la capacité d'adaptation aux impacts futurs des changements climatiques permettraient de faire ressortir les occasions de renforcer la capacité d'adaptation en ce qui concerne les services écosystémiques (Boyd, 2010).

5.6.1.2 Données et renseignements

Davantage de données ouvertes, de normes nationales sur ce qui constitue des approches fondées sur la nature efficaces et durables, de mesures, d'approches pour la surveillance et les inventaires, et l'amélioration de la collecte et la mise en commun des données de référence favoriseraient une recherche sur la biodiversité relative aux impacts des changements climatiques et à l'adaptation à ceux-ci plus cohérente et coordonnée (Groupe de travail sur l'adaptation et la biodiversité, 2018). Les besoins spécifiques en matière de données et de renseignements sont les suivants :

- l'amélioration des ensembles de données spatiales et des indicateurs des flux de services écosystémiques;
- davantage de données sur les impacts des changements phénologiques sur les services écosystémiques et l'évaluation non monétaire des flux de services écosystémiques;
- l'élaboration de mesures et de normes (au-delà des forêts) pour suivre les taux de séquestration et de stockage du carbone terrestre et côtier;

- une meilleure détermination des points chauds de la vulnérabilité et de la résilience;
- une surveillance accrue afin de mieux comprendre l'efficacité des approches d'adaptation.

Les mécanismes d'accès à l'information et les mécanismes permettant de faciliter la collaboration en dehors des agences gouvernementales présentent également des lacunes. Des orientations, des ressources et des outils accessibles sont également nécessaires pour aider les décideurs à intégrer l'adaptation et la résilience à l'échelle du paysage grâce à des approches fondées sur les services écosystémiques.

5.6.2 Nouveaux enjeux

Tous les Canadiens tireront avantage de la mise en place et du maintien d'écosystèmes, de collectivités et d'économies résilients. Au fur et à mesure que la recherche et la mise en œuvre des stratégies en matière de changements climatiques émergent et évoluent, plusieurs domaines peuvent progresser rapidement, tandis que d'autres requièrent davantage de considération. Cette section met en évidence certains nouveaux enjeux qui pourraient jouer un rôle clé dans la discussion sur la résilience des services écosystémiques au fil des progrès.

5.6.2.1 Évaluation des approches fondées sur la nature

L'évaluation des services écosystémiques et des actifs naturels, l'application de différentes approches à la prise de décision et l'analyse coûts-avantages des approches d'adaptation fondées sur la nature par rapport aux approches techniques sont des domaines en évolution rapide qui suscitent un intérêt considérable et gagnent en visibilité au Canada.

Avec l'augmentation de la fréquence des inondations dans les centres urbains canadiens et dans les régions côtières, on constate un regain d'intérêt pour la valorisation et l'utilisation d'approches fondées sur la nature pour répondre à des besoins qui sont normalement satisfaits par des infrastructures « grises » ou artificielles. Par exemple, les forêts et les terres humides réduisent les impacts des inondations, de l'érosion des sols et des glissements de terrain, tout en améliorant la sécurité de l'eau (Seddon et coll., 2020), et en offrant d'autres avantages écologiques (p. ex. en fournissant un habitat, des services culturels) et des réductions de coûts.

Les municipalités avancent des arguments économiques en faveur du maintien des systèmes naturels pour fournir les services nécessaires, en particulier ceux liés à l'approvisionnement en eau et à la régulation de l'eau (voir l'étude de cas 5.9). Actuellement, une variété d'approches d'évaluation ont été appliquées, y compris les coûts de remplacement (lorsque les services ont le potentiel de s'aligner sur les exigences du Conseil de comptabilité du secteur public), les coûts de restauration (lorsque le développement à faible impact est utilisé), et la valeur foncière (lorsque la gestion nécessite le transfert des droits de propriété). Dans ce processus, il est important que les municipalités reconnaissent que les systèmes naturels peuvent être submergés lorsque leur capacité est dépassée, et qu'elles commencent à considérer les systèmes naturels en tant que composante d'une stratégie d'infrastructure durable qui comprend à la fois des éléments « gris » et des éléments naturels.

5.6.2.2 Meilleure intégration des connaissances autochtones

Comme il est mentionné dans la section 5.4, l'amélioration de la prise en compte et de l'intégration des connaissances autochtones jouera un rôle important pour faire face aux impacts des changements climatiques sur les écosystèmes et leurs services, et pour la planification de notre adaptation à ceux-ci dans l'ensemble du Canada. Cela ne peut se faire sans reconnaître les préjudices qui ont historiquement érodé la confiance entre les groupes autochtones et les collectivités des colons. Dans le cadre de l'effort national visant à s'engager profondément dans le processus de vérité et de réconciliation, le renforcement des capacités et l'autonomisation du leadership autochtone sont des éléments importants du partenariat et de la participation pleine et entière avec les collectivités autochtones en matière de changements climatiques.

5.6.2.3 Rôle croissant de la science citoyenne

Grâce aux technologies et aux applications mobiles qui permettent de partager en temps réel des données sur les phénomènes naturels au moyen de dépôts en ligne (p. ex. pour la qualité de l'eau, les oiseaux migrateurs, la documentation des périodes de floraison), les citoyens peuvent participer à l'amélioration de la couverture des connaissances liées aux changements dans les services écosystémiques, tout en s'impliquant dans le suivi des changements partout au pays. De nombreux outils sont disponibles pour tirer parti de l'intérêt humain dans les informations de surveillance avec une grande couverture, pour un coût très faible. L'intérêt pour la participation à des activités uniques a permis de recueillir des informations de surveillance dans un certain nombre d'endroits où il n'était pas possible de faire de la surveillance auparavant, et cet intérêt peut être transformé en un outil efficace pour renforcer les connaissances et la sensibilisation. En outre, l'implication de la population locale dans la collecte de données peut favoriser l'apprentissage adaptatif et le capital social, et encourager l'éthique de l'intendance et de la diligence envers les écosystèmes locaux sur le long terme.

5.6.2.4 Élargir la collaboration

Le fait d'aller au-delà des partenaires traditionnels et de rechercher de nouvelles collaborations dans le domaine de la protection des services écosystémiques, ainsi que de la conception et de la mise en œuvre d'approches d'adaptation fondées sur la nature, contribuera à alimenter l'innovation. Dans certains cas, il faudra surmonter les obstacles à la communication de la valeur de la biodiversité et de la protection des écosystèmes, notamment en termes de préservation des services écosystémiques dans un climat en changement. La promotion des services écosystémiques dans le cadre des mesures d'adaptation aux changements climatiques pourrait être adaptée à différents publics en utilisant une terminologie qui leur est familière, tout en soulignant la pertinence de ces mesures pour des groupes cibles en particulier. L'expression « services écosystémiques » n'est pas comprise par tous, mais le concept de tirer des avantages de la nature est largement reconnu et est relativement facile à expliquer et à faire valoir auprès de groupes spécifiques.

5.6.2.5 Investissements et partenariats novateurs

Des investissements et des partenariats novateurs voient le jour afin d'investir dans des approches fondées sur la nature et dans la préservation des écosystèmes et de leurs services. Par exemple, le gouvernement du Canada a annoncé à la fin 2018 la création du Fonds canadien pour la nature, qui dispose de 500 millions de dollars et qui fournira des fonds de contrepartie aux projets menés par les provinces, les territoires, les municipalités et les ONG pour atteindre les objectifs de conservation. D'autres possibilités de financement associant fonds publics et privés, comme les obligations vertes, les modèles de financement social et les solutions d'assurance fondées sur la nature, entre autres, peuvent être conçues pour fournir les investissements nécessaires aux approches fondées sur la nature et pour préserver les écosystèmes et leurs services. Un financement fédéral important pour les infrastructures existe également dans le cadre du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes et du sous-volet Adaptation, résilience et atténuation des catastrophes du Fonds pour l'infrastructure verte.

5.6.2.6 Intérêt croissant du secteur privé pour les approches d'adaptation fondées sur la nature

À l'échelle mondiale, le secteur privé reconnaît de plus en plus l'importance d'écosystèmes sains et intacts. Le Forum économique mondial (2020) a classé la perte de biodiversité et les dommages environnementaux, l'incapacité à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à s'adapter aux changements climatiques, ainsi que les phénomènes météorologiques extrêmes et les catastrophes naturelles parmi les trois principaux risques pour l'économie mondiale au cours des six dernières années. Les entreprises cherchent de plus en plus à mieux comprendre les risques opérationnels, la continuité de la chaîne d'approvisionnement, les risques liés à la responsabilité et les perturbations des marchés qui pourraient découler de la perte et de la dégradation des écosystèmes et des services écosystémiques.

5.7 Conclusion

Les changements climatiques présentent de nombreux risques, occasions et options pour les écosystèmes du Canada et les personnes qui en dépendent. La nature et la gravité des impacts dépendront du rythme et de l'ampleur des changements climatiques dans les années à venir et du succès des mesures d'adaptation. Il est possible de cibler efficacement les stratégies d'adaptation en améliorant la compréhension des multiples facteurs de changement qui affectent les services écosystémiques, et la manière dont les changements dans les services écosystémiques affectent les collectivités et les segments les plus vulnérables de la société. Les systèmes naturels peuvent également jouer un rôle tampon important pour la réduction de la gravité des impacts des changements climatiques. Il a été démontré que les approches d'adaptation fondées sur la nature fournissent des méthodes complètes, multidisciplinaires et flexibles qui favorisent une série d'avantages communs, en particulier par rapport aux approches d'adaptation techniques. La complexité des effets des changements climatiques sur les écosystèmes et les services qu'ils fournissent, ainsi que les approches d'adaptation fondées sur la nature,



sont des domaines d'intérêt et d'étude en plein essor au Canada, qui promettent de produire de nouvelles connaissances desquelles nous pourrions tirer des leçons dans les années à venir.

5.8 Références

- Adams, M.A. (2013). « Mega-fires, tipping points and ecosystem services: managing forests and woodlands in an uncertain future », *Forest Ecology and Management*, 294, 250–261. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.039>>
- Alexander, C. et DePratto, B. (2014). La valeur des forêts urbaines au Canada. Étude spéciale – Services économiques TD. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.td.com/francais/document/PDF/economics/special/UrbanForestsInCanadianCities_FR.pdf>
- Allard, M., Lemay, M., Barrett, M., Sheldon, T. et Brown, R. (2012). « From Science to Policy in Nunavik and Nunatsiavut: Synthesis and recommendations » dans *Nunavik and Nunatsiavut: From science to policy. An Integrated Impact Study (IRES) of climate change and modernization*, Allard, M. et Lemay, M. (éd.), ArcticNet Inc., ville de Québec, Canada, 72 p.
- Alofs, K. M., Jackson, D. A. et Lester, N. P. (2014). « Ontario freshwater fish demonstrate differing range-boundary shifts in a warming climate », *Diversity and Distributions*, 20(2), 123–136. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/ddi.12130>>
- Arora, V.K., Peng, Y., Kurz, W.A., Fyfe, H.C., Hawkins, B. et Werner, A.T. (2016). « Potential near-future carbon uptake overcomes losses from a large insect outbreak in British Columbia, Canada », *Geophysical Research Letters*, 43(6), 2590–2598. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2015GL067532>>
- Association des administrations portuaires canadiennes (2013). « Industry information – Canadian port industry », Association des administrations portuaires canadiennes. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.acpa-ports.net/industry/industry.html>>
- Astrup, R., Bernier, P.Y., Genet, H., Lutz, D.A et Bright, R.M. (2018). « A sensible climate solution for the boreal forest », *Nature Climate Change*, 8, 11–12. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-017-0043-3>>
- Atkinson, D.E., Forbes, D.L. et James, T.S. (2016). Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation, Chapitre 2 dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 27–68. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391?_ga=2.253033034.2118943302.1617901367-286424467.1617901367>
- Atlas climatique du Canada (2019). Effet d'îlot thermique urbain. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://atlasclimatique.ca/effet-dilot-thermique-urbain>>
- Balshi, M.S., McGuire, A.D., Duffy, P., Flannigan, M., Kicklighter, D.W. et Melillo, J. (2009). « Vulnerability of carbon storage in North American boreal forests to wildfires in the 21st century », *Global Change Biology* 15, 1491–1510. Consulté en avril 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01877.x>>
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. et Silliman, B.R. (2011). « The value of estuarine and coastal ecosystem services », *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/10-1510.1>>
- Bardekjian, A. (2018). Recueil des meilleures pratiques de gestion des forêts urbaines. Deuxième édition. Initialement mandaté par Ressources naturelles Canada et élaboré par Arbres Canada. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://arbrescanada.ca/ressources/recueil-des-meilleures-pratiques-de-gestion-des-forets-urbaines/>>
- Bartens, J., Day, S.D., Harris, J.R., Dove, J.E. et Wynne, T.M. (2008). « Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management? », *Journal of Environmental Quality: Bioremediation and Biodegradation*, 37(6), 2048–2057. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.2134/jeq2008.0117>>
- Beaubien, E. et Hamann, A. (2011). « Spring flowering response to climate change between 1936 and 2006 in Alberta, Canada », *BioScience*, 61(7), 514–524. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.7.6>>
- Beaumier, M.C. et Ford, J.D. (2010). « Food insecurity among Inuit women exacerbated by socio-economic stresses and climate change », *Canadian Journal of Public Health*, 101(3), 196–201. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/bf03404373>>
- Berger, A.M., Grandin, C.J., Taylor, I.G., Edwards, A.M. et Cox, C. (2017). « Status of the Pacific Hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2017 ». Préparé par le Comité technique mixte de l'Accord relatif au merlu du Pacifique entre le gouvernement du Canada et le gouvernement des États-Unis d'Amérique, le National Marine Fisheries Service et Pêches et Océans Canada. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www.cio.noaa.gov/services_programs/prplans/pdfs/ID403_2019finalassessment_PacificHake.pdf>
- Berkes, F. (1998). « Indigenous knowledge and resource management systems in the Canadian subarctic » dans *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*, F. Berkes et C. Folke. (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 98–128.
- Berkes, F. et Berkes, M.K. (2008). « Ecological complexity, fuzzy logic and holism in indigenous knowledge », *Futures*, 41(1), 6–12. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.futures.2008.07.003>>

- Berland, A., Shiflett, S.A., Shuster, W.D., Garmestani, A.S., Goddard, H.C., Hermann, D.L. et Hopton, M.E. (2017). « The role of trees in urban stormwater management », *Landscape and Urban Planning*, 162, 167–177. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>>
- Bernhardt, J.R. et Leslie, H.M. (2013). « Resilience to climate change in coastal marine ecosystems », *Annual Review of Marine Science*, 5, 371–392. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172411>>
- Bernier, P.Y., Gauthier, S., Jean, P.-O., Manka, F., Boulanger, Y., Beaudoin, A. et Guindon, L. (2016). « Mapping local effects of forest properties on fire risk across Canada », *Forests*, 7(8), 157. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f7080157>>
- Berrang-Ford, L., Dingle, K., Ford, J.D., Lee, C., Lwawa, S., Namanya, D.B., Henderson, J., Llanos, A., Carcamo, C. et Edge, V. (2012). « Vulnerability of Indigenous health to climate change: A case study of Uganda's Batwa Pygmies », *Social Science and Medicine*, 75(6), 1067–1077. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.04.016>>
- Biodivcanada (2020). Buts et objectifs canadiens pour la biodiversité d'ici 2020. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://biodivcanada.chm-cbd.net/fr/buts-et-objectifs-canadiens-pour-la-biodiversite-dici-2020>>
- Blackburn, T. C. et Anderson, K. (éd.) (1993). « Before the Wilderness: Environmental Management by Native Californians », Ballena Press, Menlo Park, Californie, États-Unis, 476 p.
- Boisvert-Marsh, L., Périé, C. et de Blois, S. (2014). « Shifting with climate? Evidence for recent changes in tree species distribution at high latitudes », *Ecosphere*, 5(7), 1–33. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/ES14-00111.1>>
- Boone, R.B., Conant, R.T., Sircely, J., Thornton, P.K. et Herrero, M. (2018). « Climate change impacts on selected global rangeland ecosystem services », *Global Change Biology*, 24, 1382–1392. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/gcb.13995>>
- Boucher, D., Boulanger, Y., Aubin, I., Bernier, P.Y., Beaudoin, A., Guindon, L. et Gauthier, S. (2018). « Current and projected cumulative impacts of fire, drought, and insects on timber volumes across Canada », *Ecological Applications*, 28(5), 1245–1259. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/eap.1724>>
- Boulanger, Y., Girardin, M., Bernier, P.Y., Gauthier, S., Beaudoin, A. et Guindon, L. (2017b). « Changes in mean forest age in Canada's forests could limit future increases in area burned but compromise potential harvestable conifer volumes », *Canadian Journal of Forest Research*, 47(6), 755–764. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0445>>
- Boulanger, Y., Taylor, A.R., Price, D.T., Cyr, D., McGarrigle, E., Rammer, W., Sainte-Marie, G., Beaudoin, A., Guindon et Mansuy, N. (2017a). « Climate change impacts on forest landscapes along the Canadian southern boreal forest transition zone », *Landscape Ecology*, 32(7), 1415–1431. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10980-016-0421-7>>
- Boyd, J. (2010). « Ecosystem Services and Climate Adaptation ». *Resources for the Future Issue Brief*, 10–16, juillet 2010.
- Brandt, L., Derby Lewis, A., Fahey, R., Scott, L., Darling, L. et Swanston, C. (2016). « A framework for adapting urban forests to climate change », *Environmental Science & Policy*, 66, 393–402. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.005>>
- Breshears, D.D., Cobb, N.S., Rich, P.M., Price, K.P. Allen, C.D., Balice, R.G., Romme, W.H., Kastens, J.H., Floyd, M.L., Belnap, J., Anderson, J.J., Myers, O.B. et Meyer, C.W. (2005). « Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought », *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 102(42), 15144–15148. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.0505734102>>
- Breshears, D.D., López-Hoffman, L. et Graumlich, L.J. (2011). « When ecosystem services crash: preparing for big, fast, patchy climate change », *AMBIO*, 40(3), 256–263. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13280-010-0106-4>>
- Brommer, J.E., Lehikoinen, A. et Valkama, J. (2012). « The breeding ranges of central European and Arctic bird species move poleward », *PLoS One*, 7(9), e43648. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043648>>
- Bucharova, A. (2017). « Assisted migration within species range ignores biotic interactions and lacks evidence », *Restoration Ecology*, 25(1), 14–18. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/rec.12457>>
- Bunker, D.E., DeClerck, F., Bradford, J.C., Colwell, R.K., Perfecto, I., Phillips, O., Sankaran, M. et Naeem, S. (2005). « Species loss and aboveground carbon storage in a tropical forest », *Science*, 310(5750), 1029–1031. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1117682>>
- Bureau d'assurance du Canada (2019). Assurances de dommages au Canada 2019, 41^e édition. Consulté en juin 2020 sur le site <http://assets.ibc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf>
- Burton, P.J. (2010). « Striving for sustainability and resilience in the face of unprecedented change: the case of the mountain pine beetle outbreak in British Columbia », *Sustainability*, 2(8), 2403–2423. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su2082403>>

- Bush, E. et Lemmen, D.S. (éd.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 444 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>
- Callaghan, T.V., Johansson, M., Brown, R.D., Groisman, P.Y., Labba, N., Radionov, V., Barry, R.G., Bulygina, O.N., Essery, R.L.H., Frolov, D.M., Golubev, V.N., Grenfell, T.C., Petrushina, M.N., Razuvaev, V.N., Robinson, D.A., Romanov, P., Shindell, D., Shmakin, A.B., Sokratov, S.A., Warren, S. et Yang, D. (2011). « The changing face of Arctic snow cover: a synthesis of observed and projected changes », *AMBIO*, 40, 17–31. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13280-011-0212-y>>
- Carlson, D. (2020). « Natural infrastructure for Coastal Flood Protection in Boundary Bay, BC ». Présentation de West Coast Environmental Law au Sommet des solutions nature pour le climat, 5 et 6 février 2020. *Summit Report*, 54. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://sjdavidson1.files.wordpress.com/2017/12/85b33-climate-summit-summary-report-v6.pdf>>
- CBCL Ltd. (2017). « Truro Flood Risk Study, Town of Truro ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.truro.ca/living-intruro/truro-flood-risk-study.html>>
- Cercle autochtone d'experts (2018). Nous nous levons ensemble. Consulté en mars 2021 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/pc/R62-548-2018-fra.pdf>
- Chanteloup, L. (2013). « Wildlife as a tourism resource in Nunavut », *Polar Record*, 49(3), 240–248. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247412000617>>
- Chen, I.-C., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B. et Thomas, C.D. (2011). « Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming », *Science*, 333(6045), 1024–1026. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1206432>>
- Cheung, W.W.L. (2018). « The future of fishes and fisheries in the changing oceans », *Journal of Fish Biology*, 92(3), 790–803. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfb.13558>>
- Cheung, W.W.L., Reygondeau, G. et Frölicher, T.L. (2016). « Large benefits to marine fisheries of meeting the 1.5°C global warming target », *Science*, 354, 1591–1594. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aag2331>>
- Cohen, J.M., Lajeunesse, M.J. et Rohr, J.R. (2018). « A global synthesis of animal phenological responses to climate change », *Nature Climate Change*, 8, 224–228 (2018). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0067-3>>
- Cohen, S., Bush, E., Zhang, X., Gillett, N., Bonsal, B., Derksen, C., Flato, G., Greenan, B. et Watson, E. (2019). Le contexte national et mondial des changements régionaux au Canada, Chapitre 8 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 424–443. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/8-0/>>
- Collingsworth, P.D., Bunnell, D.B., Murray, M.W., Kao, Y.-C., Feiner, Z.S., Claramunt, R.M., Lofgren, B.M., Höök, T.O. et Ludsin, S.A. (2017). « Climate change as a long-term stressor for the fisheries of the Laurentian Great Lakes of North America », *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27, 363–391. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11160-017-9480-3>>
- Conseil canadien des aires écologiques (2014). Une introduction aux écozones. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://ccea-ccae.org/fr/ecozones-introduction/>>
- Convention sur la diversité biologique (1992). Convention sur la diversité biologique, Nations Unies, 28 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>>
- Convention sur la diversité biologique (2020). Article 2 : Emploi des termes. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02>>
- Cottar, S. (2019). « Setting a new precedent: Dyke realignment and managed retreat facilitate coastal climate adaptation in Truro, Nova Scotia ». Canadian Coastal Resilience Forum, Université de Waterloo. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://uwaterloo.ca/canadian-coastal-resilience/blog/post/setting-new-precedent-dyke-realignment-and-managed-retreat>>
- Cressman, P. (2020). « Tłı̨chq̓ Dq̓taats'eedi (les Tłı̨chq̓ partagent de la nourriture parmi la population) » [Présentation à la conférence]. Adaptation Canada 2020, Vancouver, Colombie-Britannique.
- Cruikshank, J. (1998). « The Social Life of Stories: Narrative and Knowledge in the Yukon Territory ». UBC Press, Vancouver, 240 p.
- Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.C., Lugo, A.E., Peterson, C.J., Simberloff, D., Swanson, F.J., Stocks, B.J. et Wotton, B.M. (2001). « Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides », *BioScience*, 51(9), 723–734. Consulté en mars 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0723:CCAFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0723:CCAFD]2.0.CO;2)>
- Davidson-Hunt, I. et Berkes, F. (2003). « Learning as you journey: Anishnaabe perception of social-ecological environments and adaptive learning », *Conservation Ecology*, 8(1), 5. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.consecol.org/vol8/iss1/art5/>>

de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. et Willemsen, L. (2010b). « Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making », *Ecological Complexity*, 7(3), 260–272. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>>

de Groot, R.S., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Haines-Young, R., Gowdy, J., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, R. et Ring, I. (2010a). « Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation », Chapitre 1 dans *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, P. Kumar (éd.). Earthscan, Londres, Royaume-Uni.

Deegan, L.A., Johnson, D.S., Warren, R.S., Peterson, B.J., Fleeger, J.W., Fagherazzi, S. et Wollheim, W.M. (2012). « Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss », *Nature*, 490(7420), 388–392. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nature11533>>

Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., Thackeray, C. et Kirchmeier-Young, M. (2018). Évolution de la neige, de la glace et du pergélisol à l'échelle du Canada, Chapitre 5 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 194-260. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/5-0/>>

Donnelly, A., Caffarra, A. et O'Neill, B.F. (2011). « A review of climate-driven mismatches between interdependent phenophases in terrestrial and aquatic ecosystems », *International Journal of Biometeorology*, 55(6), 805–817. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00484-011-0426-5>>

Duerden, F. et Kuhn, R.G. (1998). « Scale, context, and application of traditional knowledge of the Canadian north », *Polar Record*, 34(188), 31–38. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247400014959>>

Dulvy, N.K., Rogers, S.I., Jennings, S., Stelzenmuller, V., Dye, S.R. et Skjoldal, H.R. (2008). « Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas », *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1029–1039. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01488.x>>

ECCC [Environnement et Changement climatique Canada] (2017). Programme de rétablissement du pin à écorce blanche (*Pinus albicaulis*) au Canada [Proposition]. *Loi sur les espèces en péril* : Série de Programmes de rétablissement. ECCC, Ottawa, Ontario, 54 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/programmes-retablissement/pin-ecorce-blanche-2017.html>>

Ellis, E.C., Klein Goldewijk, K., Siebert, S., Lightman, D. et Ramankutty, N. (2010). « Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000 », *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 589–606. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>>

Emmerton, C., Cooke, C., Hustins, S., Silins, U., Emelko, M.B., Lewis, T., Kruk, M.K., Taube, N., Zhu, D., Jackson, B., Stone, M., Kerr, J.G. et Orwin, J.F. (2020). « Severe western Canadian wildfire affects water quality even at large basin scales », *Water Research*, 183, 116071. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116071>>

Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (2005). « Ecosystems and human well-being: Synthesis ». Island Press, Washington, DC. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.millenniumassessment.org/fr/index.html>>

Evengard, B., Berner, J., Brubaker, M., Mulvad, G. et Revich, B. (2011). « Climate change and water security with a focus on the Arctic », *Global Health Action*, 4(1), 8449. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3402/gha.v4i0.8449>>

Eyzaguirre, J., Boyd, R., Prescott, S., Morton, C., Nelitz, M. et Litt, A. (2020). « Green Shores 2020: Impact, Value and Lessons Learned, Final Project Report ». Préparé par ESSA Technologies Ltd. pour le Stewardship Centre for British Columbia. Consulté en mars 2021 sur le site <http://stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/Resources/Green%20Shores%202020_%20Impact,%20Value%20and%20Lessons%20Learned_%20Full%20Report_July2020.pdf>

Ferguson, M.A.D. et Messier, F. (1997). « Collection and analysis of traditional ecological knowledge about a population of Arctic tundra caribou », *Arctic*, 50(1), 17–28. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.14430/arctic1087>>

Festa-Bianchet, M., Ray, J.C., Boutin, S., Côté, S.D. et Gunn, A. (2011). « Conservation of caribou (*Rangifer tarandus*) in Canada: an uncertain future », *Canadian Journal of Zoology*, 89(5), 419–434. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1139/z11-025>>

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. et Holling, C.S. (2004). « Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management », *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 557–581. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>>

Ford, J.D. et Pearce T. (2012). « Climate change vulnerability and adaptation research focusing on the Inuit subsistence sector in Canada: Directions for future research », *The Canadian Geographer*, 56(2), 275–287. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2012.00418.x>>

- Ford, J.D. et Pearce, T. (2010). « What we know, do not know, and need to know about climate change vulnerability in the western Canadian Arctic: a systematic literature review », *Environmental Research Letters*, 5(1), 1–9. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014008>>
- Ford, L.B. (2009). « Climate Change and Health in Canada », *McGill Journal of Medicine*, 12(1), 78–84. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2687921/>>
- Forum économique mondial (2020). « The Global Risks Report 2020 ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://fr.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020>>
- Fraser, R.H., Lantz, T.C., Olthof, I., Koklj, S.V. et Sims, R.A. (2014). « Warming-induced shrub expansion and lichen decline in the western Canadian Arctic », *Ecosystems*, 17(7), 1151–1168. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10021-014-9783-3>>
- Freeman, M.M.R. (1992). « The nature and utility of traditional ecological knowledge », *Northern Perspectives*, 20(1), 9–12. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/269576083_The_nature_and_utility_of_traditional_ecological_knowledge>
- Friends of the Greenbelt Foundation (2011). « Climate Change Adaptation: Ontario's Resilient Greenbelt ». Consulté en mars 2021 sur le site <https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/greenbelt/pages/41/attachments/original/1376571502/Climate_Change_Adaption_Ontario's_Resilient_Greenbelt.pdf?1376571502>
- Galloway, C. et Arvidson, V. (réalisateur) (2020). Hoziiidee [Film]. Gouvernement Tłı̨cẖ. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.tlich.ca/news/boots-ground-mini-documentary-about-bathurst-caribou>>
- Gamache, I. et Payette, S. (2005). « Latitudinal response of subarctic tree lines to recent climate change in eastern Canada », *Journal of Biogeography*, 32(5), 849–862. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01182.x>>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie B : Aspects régionaux. Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 688 p.
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019a). Résumé à l'intention des décideurs dans *Changement climatique et terres émergées : Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres*, P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_fr.pdf>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019b). Résumé à l'intention des décideurs dans *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, Rapport spécial du GIEC*, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf>
- Gonzalez, P., Neilson, R.P., Lenihan, J.M. et Drapek, R.J. (2010). « Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change », *Global Ecology and Biogeography*, 19(6), 755–768. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00558.x>>
- Gouvernement de l'Ontario (2005). Ceinture de verdure (Loi de 2005 sur la), L.O. 2005, chap. 1. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ontario.ca/fr/lois/loi/05g01>>
- Gouvernement de l'Ontario (2015). Stratégie de l'Ontario en matière de changement climatique. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ontario.ca/fr/page/strategie-de-lontario-en-matiere-de-changement-climatique>>
- Gouvernement de la Colombie-Britannique (2021). « Whitebark Pine Restoration ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/plants-animals-ecosystems/species-ecosystems-at-risk/implementation/conservation-projects-partnerships/whitebark-pine-restoration>>
- Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (2005). « Policy 53.03 : Traditional knowledge ». Northwest Territories Policy. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.eia.gov.nt.ca/sites/eia/files/content/53.03-traditional-knowledge.pdf>>
- Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (s.d.). Caribou de la toundra, Harde de Bathurst. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.enr.gov.nt.ca/fr/services/caribou-de-la-toundra>>
- Gouvernement du Canada (2011). Registre public des espèces en péril, Profil d'espèce, Pin à écorce blanche. Consulté en mars 2021 sur le site <https://faune-especes.canada.ca/registre-especes-peril/species/speciesDetails_f.cfm?sid=1086>

- Gouvernement du Canada (2014). Le sixième rapport du Canada sur les changements climatiques : Mesures prises pour mettre en œuvre les engagements du Canada sous la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 288 p. Consulté en mars 2021 sur le site <https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/nc6_can_resubmission_french.pdf>
- Gouvernement du Canada (2020). Aires conservées au Canada. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/aires-conservees.html>>
- Graumlich, L. et Francis, W.L. (éd.). (2010). « Moving Toward Climate Change Adaptation: The Promise of the Yellowstone to Yukon Conservation Initiative for addressing the Region's Vulnerabilities ». Yellowstone to Yukon Conservation Initiative. Canmore, Alberta. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://y2y.net/wp-content/uploads/sites/69/2019/08/963y2yclimchangeweb.pdf>>
- Gray, C. (2020). « Protecting and Enabling Nature-Based Solutions ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.swissre.com/dam/jcr:19ebcb33-03c6-41bb-9047-917c95116b43/nature-based-solutions-pss.pdf>>
- Green Analytics (2016). « Ontario's Good Fortune: Appreciating the Greenbelt's Natural Capital ». Produit pour la Friends of the Greenbelt Foundation, 92 p. Consulté en mars 2021 sur le site <https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/greenbelt/pages/2825/attachments/original/1485878510/OP_20_Web_version_2017.pdf?1485878510>
- Green Shores (2021). « Green Shores Shoreline Development Program ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://stewardshipcentrebc.ca/green-shores-home/gs-programs/gssd/>>
- Greenberg, D.A., Blanchard, W., Smith, B. et Barrow, E. (2012). « Climate change, mean sea level and high tides in the Bay of Fundy », *Atmosphere-Ocean*, 50(3), 261–276. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07055900.2012.668670>>
- Groupe de travail sur l'adaptation et la biodiversité (2018). Rapport de situation sur l'adaptation. Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-du-groupe-de-travail-sur-ladaptation-et-la-biodiversite.pdf>>
- Guilbault, S. (2016). « Kingston: Using the urban forest to mitigate the urban heat island effect in Cities Adapt to Extreme Heat: Celebrating Local Leadership ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 56–59. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/11-Kingston.pdf>>
- Gunderson, L. (1999). « Resilience, flexibility and adaptive management – Antidotes for spurious certitudes? », *Conservation Ecology*, 3(1), 7. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.ecologyandsociety.org/vol3/iss1.art7/>>
- Haines-Young, R., Potschin, M. et Kienast, F. (2012). « Indicators of ecosystem service potential at European scales: mapping marginal changes and trade-offs », *Ecological Indicators*, 21, 39–53. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.004>>
- Hall, C.M. et Saarinen, J. (2010). « Tourism and Change in Polar Regions: Climate, Environments and Experiences ». Routledge, New York, 337 p.
- Hällfors, M.H., Aikio, S. et Schulman, L.E. (2017). « Quantifying the need and potential of assisted migration », *Biological Conservation*, 205, 34–41. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.023>>
- Halpern, B.S., McLeod, K.L., Rosenberg, A.A. et Crowder, L.B. (2008). « Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning », *Ocean and Coastal Management*, 51(3), 203–211. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.08.002>>
- Hansen, B.B., Aanes, R., Herfindal, I., Kohler, J. et Sæther, B.-E. (2011b). « Climate, icing, and wild arctic reindeer: Past relationships and future prospects », *Ecology*, 92(10), 1917–1923. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/11-0095.1>>
- Hansen, L.J. et Hoffman, J.R. (2011a). « Climate Savvy: Adapting Conservation and Resource Management to a Changing World ». Island Press, Washington, D.C. 245 p.
- Hanson, A. et Calkins, L. (1996). « Wetlands of the Maritime Provinces: revised documentation for the wetlands inventory », Environnement Canada, Service canadien de la faune, Région de l'Atlantique. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.publications.gc.ca/site/fra/9.857785/publication.html>>
- Harlan, J. (1995). « The Living Fields: Our Agricultural Heritage ». Cambridge University Press, New York, New York, États-Unis, 288 p.
- Hartig, E.K., Gornitz, V., Kolker, A., Mushacke, F. et Fallon, D. (2002). « Anthropogenic and climate-change impacts on salt marshes of Jamaica Bay, New York City », *Wetlands*, 22(1), 71–89. Consulté en mars 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2002\)022\[0071:AACCIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2002)022[0071:AACCIO]2.0.CO;2)>
- Hill, G.B. et Henry, G.H. (2011). « Responses of High Arctic wet sedge tundra to climate warming since 1980 », *Global Change Biology*, 17(1), 276–287. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02244.x>>
- Holling, C.S. et Meffe, G.K. (1996). « Command and control and the pathology of natural resource management », *Conservation Biology*, 10(2), 328–337. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10020328.x>>

Hoover, C., Ostertag, S., Hornby, C., Parker, C., Hansen-Craik, K., Loseto, L. et Pearce, T. (2016). « The continued importance of hunting for future Inuit food security », *Solutions*, 7(4), 40–51. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://thesolutionsjournal.com/2016/08/20/continued-importance-hunting-future-inuit-food-security/>>

Hope, E.S., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stocks, B.J. et Gauthier, S. (2016). « Wildlife suppression costs for Canada under a changing climate », *PLoS One*, 11(8), e0157425. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157425>>

Houde, N. (2007). « The Six Faces of Traditional Ecological Knowledge Challenges and Opportunities for Canadian Co-Management Arrangements », *Ecology and Society*, 12(2), 34. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art34/>>

Huggel, C., Clague, J.J. et Korup, O. (2011). « Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains? », *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(1), 77–91. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/esp.2223>>

Huntington, H.P. (1998). « Observations on the utility of the semi-directive interview for documenting ecological knowledge », *Arctic*, 51(3), 237–242. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.14430/arctic1065>>

IANM [Municipal Natural Assets Initiative] (2019). « What are municipal natural assets: defining and scoping municipal natural assets, Decision-maker summary ». Consulté en mars 2021 sur le site <https://mnai.ca/media/2019/07/SP_MNAI_Report-1-June2019-2.pdf>

ICF (2018). « Best Practices and Resources on Climate Resilient Natural Infrastructure ». Préparé pour le Conseil canadien des ministres de l'Environnement. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.preventionweb.net/publications/view/64196>>

IIDD [Institut international du développement durable] (2019). « Sustainable Asset Valuation Tool: Natural Infrastructure ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.iisd.org/publications/sustainable-asset-valuation-tool-natural-infrastructure>>

IPBES [Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques] (2016). Résumé à l'intention des décideurs dans *Rapport d'évaluation sur les pollinisateurs, la pollinisation et la production alimentaire*, S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, J.C. Biesmeijer, T.D. Breeze, L.V. Dicks, L.A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A.J. Vanbergen, M.A. Aizen, S.A. Cunningham, C. Eardley, B.M. Freitas, N. Gallai, P.G. Kevan, A. Kovcs-Hostynszki, P.K. Kwabong, J. Li, X. Li, D.J. Martins, G. Nates-Parra, J.S. Pettis, R. Rader et B.F. Viana (éd.), 36 p. Secrétariat de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/2016_spm_pollination-fr.pdf>

IPBES [Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques] (2018). « The regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas », J. Rice, C.S. Seixas, M.E. Zaccagnini, M. Bedoya-Gaitán et N. Valderrama (éd.). Secrétariat de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, Bonn, Allemagne, 656p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://ipbes.net/assessment-reports/americas>>

Johnson, C.J., Croft, B., Gunn, A. et Poirier, L.M. (2012). « Gauging climate change effects at local scales: weather-based indices to monitor insect harassment in caribou », *Ecological Applications*, 22(6), 1838–1851. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/11-0569.1>>

Johnson, M. (1992a). « Dene traditional knowledge », *Northern Perspectives*, 20(1), 2. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://www.carc.org/pubs.v20no1/dene.htm>>

Johnson, M. (éd.) (1992b). « Lore : Capturing Traditional Environmental Knowledge ». Institut culturel déné et Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada, 200 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.idrc.ca/fr/livres/lore-capturing-traditional-environmental-knowledge>>

Joly, K., Duffy, P.A. et Rupp, T.S. (2012). « Stimulating the effects of climate change on fire regimes in Arctic biomes: implications for caribou and moose habitat », *Ecosphere*, 3(5), 1–18. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00012.1>>

Jones, K.R., Klein, C.J., Halpern, B.S., Venter, O., Grantham, H., Kuempel, C.D., Shumway, N., Friedlander, A.M., Possingham, H.P. et Watson, J.E.M. (2018). « The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness », *Current Biology*, 28(15), 2506–2512. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.010>>

Kareiva, P., Ruckelshaus, M., Arkema, K., Geller, G., Girvetz, E., Goodrich, D., Nelson, E., Matzek, V., Pinsky, M., Reid, W., Saunders, M., Semmens, D. et Tallis, H. (2012). « Impacts of climate change on ecosystem services », Chapitre 4 dans *Impacts of Climate Change on Biodiversity, Ecosystems, and Ecosystem Services: Technical Input to the 2013 National Climate Assessment*, Staudinger, M.D., Grimm, N.B., Staudt, A., Carter, S.L., Stuart III, F.S., Kareiva, P., Ruckelshaus, M. et Stein, B.A. (éd.), Cooperative Report to the 2013 National Climate Assessment, 296 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70039460>>

Keenan, R.J. (2015). « Climate change impacts and adaptation in forest management: a review », *Annals of Forest Science*, 72, 145–167. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5>>

- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z. et Cerdà, A. (2018). « The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services », *Science of the Total Environment*, 610–611, 997–1009. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077>>
- Kelly, B.C. et Gobas, F.A.P.C. (2001). « Bioaccumulation of persistent organic pollutants in lichen-caribou-wolf food chains of Canada's central and western Arctic », *Environmental Science and Technology*, 35(2), 325–334. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1021/es0011966>>
- Kerr, J.T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S.G., Roberts, S.M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S.R., Richardson, L.L., Wagner, D.L., Gall, L.F., Sikes, D.S. et Pantoja, A. (2015). « Climate change impacts on bumblebees converge across continents », *Science*, 349(6244), 177–180. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>>
- Kohler, T., Wehrli, A. et Jurek, M. (éd.) (2014). « Mountains and climate change: a global concern ». Sustainable Mountain Development Series. Bern, Suisse, Centre pour le développement et l'environnement (CDE), Direction suisse du développement et de la coopération (DDC) et Geographica Bernensia, 136 p.
- Körner, C. et Basler, D. (2010). « Phenology under global warming », *Science*, 327(5972), 1461–1462. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1186473>>
- Kortsch, S., Primiceria, R., Fossheim, M., Dolgov, A.V. et Aschan, M. (2015). « Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts to boreal generalists », *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1814). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1546>>
- Kress, S.W., Shannon, P. et O'Neal, C. (2016). « Recent changes in the diet and survival of Atlantic puffin chicks in the face of climate change and commercial fishing in midcoast Maine, USA », *FACETS*, 1(1), 27–43. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1139/facets-2015-0009>>
- Kueppers, L. M., Torn, M. et Harte, J. (2007). « Quantifying ecosystem feedbacks to climate change: Observational needs and priorities ». A report to the Office of Biological and Environmental Research and the Office of Science, U. S. Department of Energy. Consulté en mars 2021 sur le site <http://faculty.ucmerced.edu/lkueppers/pdf/Feedbacks%20Report%20pq_10May07.pdf>
- Kurz, W.A. et Apps, M.J. (1999). « A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector », *Ecological Applications*, 9(2), 526–547. Consulté en mars 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1999\)009\[0526:AYRAOC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009[0526:AYRAOC]2.0.CO;2)>
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T. et Satranyik, L. (2008). « Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change », *Nature*, 452, 987–990. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nature06777>>
- Lal, R. (2008). « Carbon sequestration », *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences*, 363(1492), 815–830. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>>
- Lamont, G., Readshaw, J., Robinson, C. et St-Germain, P. (2014). « Greening Shorelines to Enhance Resilience: An Evaluation of Approaches for Adaptation to Sea Level Rise ». Rapport préparé par SNC-Lavalin Inc. pour le Stewardship Centre for British Columbia. Consulté en mars 2021 sur le site <http://www.stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/Resources/Greening_Shorelines_to_Enhance_Resilience.pdf>
- Lane, J.E., Czenze, Z.J., Findlay-Robinson, R. et Bayne, E. (2019). « Phenotypic plasticity and local adaptation in a wild hibernator evaluated through reciprocal translocation », *The American Naturalist*, 194(4), 516–528. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1086/702313>>
- Leadley, P., Proença, V., Fernández-Manjarrés, J., Pereira, H.M., Alkemade, R., Biggs, R., Burley, E., Cheung, W., Cooper, D., Figueiredo, J., Gilman, E., Guénette, S., Hurt, G., Mbow, C., Oberdorff, T., Revenga, C., Scharlemann, J.P.W., Scholes, R., Smith, M.S., Sumaila, U.R. et Walpole, M. (2014). « Interacting Regional-Scale Regime Shifts for Biodiversity and Ecosystem Services », *BioScience*, 64(8), 665–679. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biu093>>
- Leighton, P.A., Koffi, J.K., Pelcat, Y., Lindsay, L.R. et Ogden, N.H. (2012). « Predicting the speed of tick invasion: an empirical model of range expansion for the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada », *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 457–464. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02112.x>>
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., James, T.S. et Mercer Clarke, C.S.L. (éd.) (2016). Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 274 p. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391?_ga=2.97097688.653900817.1618232875-286424467.1617901367>
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J. et Marchetti, M. (2010). « Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems », *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698–709. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>>

- Lipton, D., Rubenstein, M.A., Weiskopf, S.R., Carter, S., Peterson, J., Crozier, L., Fogarty, M., Gaichas, S., Hyde, K.J.W., Morelli, T.L., Morisette, J., Moustahfid, H., Muñoz, R., Poudel, R., Staudinger, M.D., Stock, C., Thompson, L., Waples, R. et Weltzin, J.F. (2018). « Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity », Chapitre 7 dans *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment*, volume II, D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). Programme de recherche sur les changements climatiques des États-Unis, Washington, D.C., États-Unis, 268–321. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.7930/NCA4.2018.CH7>>
- Livesley, S.J., McPherson, E.G. et Calfapietrac, C. (2016). « The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale », *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 119–124. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>>
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P. et Grace, J. (2008). « Old-growth forests as global carbon sinks », *Nature*, 455(7210), 213–215. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nature07276>>
- Mace, G. M., Norris, K. et Fitter, A. H. (2012). « Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship », *Trends in Ecology and Evolution*, 27(1), 19–26. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>>
- Mailhot, J. (1993). Le savoir écologique traditionnel : la variabilité des systèmes de connaissance et leur étude. Évaluation environnementale du projet Grande-Baleine. Dossier-synthèse no 4. Bureau de soutien de l'examen public du projet Grande-Baleine, Montréal, Canada.
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M.G., Field, C.B. et Knowlton, N. (2020). « Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions », *Philosophical Transactions of the Royal Society B; Biological Sciences*, 375(1794). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>>
- Mallory, C.D. et Boyce, M.S. (2017). « Observed and predicted effects of climate change on Arctic caribou and reindeer », *Environmental Reviews*, 26(1), 13–25. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2017-0032>>
- Mauro, F. et Hardison, P. (2000). « Traditional knowledge of Indigenous and local communities: International debate and policy initiatives », *Ecological Applications*, 10(5), 1263–1269. Consulté en mars 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1263:TKOIAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1263:TKOIAL]2.0.CO;2)>
- McLane, S.C. et Aitken, S.N. (2012). « Whitebark pine (*Pinus albicaulis*) assisted migration potential: testing establishment north of the species range », *Ecological Applications*, 22(1), 142–153. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/11-0329.1>>
- Mead, E., Gittelsohm, J., Kratzmann, M., Roache, C. et Sharma, S. (2010). « Impact of the changing food environment on dietary practices of an Inuit population in Arctic Canada », *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 23(s1), 18–26. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-277x.2010.01102.x>>
- Meredith, M., Sommerkorn, M., Cassotta, S., Derksen, C., Ekaykin, A., Hollowed, A., Kofinas, G., Mackintosh, A., Melbourne-Thomas, J., Muelbert, M.M.C., Ottersen, G., Pritchard, H. et Schuur, E.A.G. (2019). « Polar regions », Chapitre 3 dans *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, Rapport spécial du GIEC*, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-3-2/>>
- Michaelian, M., Hogg, E.H., Hall, R.J. et Arsenault, E. (2010). « Massive mortality of aspen following severe drought along the southern edge of the Canadian boreal forest », *Global Change Biology*, 17(6), 2084–2094. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1365-2486.2010.02357.x>>
- Mina, M., Bugmann, H., Cordonnier, T., Irauschek, F., Klopčič, M. (2017). « Future ecosystem services from European mountain forests under climate change », *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 389–401. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12772>>
- Ministère des Affaires municipales (2017). Plan de la ceinture de verdure (2017). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ontario.ca/fr/document/plan-de-la-ceinture-de-verdure-2017>>
- Ministère des Pêches et des Océans Canada (2019). Les océans du Canada maintenant : Écosystèmes de l'Arctique, 2019. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40837385.pdf>>
- Ministre des Approvisionnements et Services Canada (1995). Stratégie canadienne de la biodiversité : Réponse du Canada à la Convention sur la diversité biologique. Environnement Canada, Hull, Québec. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://biodivcanada.chm-cbd.net/fr/documents/strategie-canadienne-de-la-biodiversite>>
- Mitchell, M.G., Schuster, R., Jacob, A.L., Hanna, D.E., Ouellet Dallaire, C., Raudsepp-Hearne, C., Bennett, E.M., Lehner, B. et Chan, K.M. (2021). « Identifying key ecosystem service providing areas to inform national-scale conservation planning », *Environmental Research Letters*, 16(1). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc121>>
- Mitsch, W.J. et Gosselink, J.G. (2015). « Wetlands » (5e éd.). Wiley, Hoboken, New Jersey, États-Unis, 752 p.

- Møller, A.P., Rubolini, D. et Lehtikoinen, E. (2008). « Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(42), 16,195–16,200. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.0803825105>>
- Moller, H., Charleton, K., Knight, B., Lyver, P.O.B. (2009a). « Traditional ecological knowledge and scientific inference of prey availability: harvests of sooty shearwater (*Puffinus griseus*) chicks by Rakiura Māori », *New Zealand Journal of Zoology*, 36(3), 259–274. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/03014220909510154>>
- Moller, H., Lyver, P.O.B., Bragg, C., Newman, J., Clucas, R., Fletcher, D., Kitson, J., McKechnie, S., Scott, D. et Rakiura Titi Islands Administering Body (2009b). « Guidelines for cross-cultural participatory action research partnerships: a case study of a customary seabird harvest in New Zealand », *New Zealand Journal of Zoology*, 36(3), 211–241. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/03014220909510152>>
- Morris, R.L., Konlechner, T.M., Ghisalberti, M. et Swearer, S.E. (2018). « From grey to green: Efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence », *Global Change Biology*, 24(5), 1827–1842. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/gcb.14063>>
- Morton, E.M. et Rafferty, N.E. (2017). « Plant-pollinator interactions under climate change: the use of spatial and temporal transplants », *Applications in Plant Sciences*, 5(6), *Special issue: Studying plant-pollinator interactions facing climate change and changing environments*. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3732/apps.1600133>>
- Myers-Smith, I.H., Forbes, B.C., Wilmking, M., Hallinger, M., Lantz, T., Blok, D., Tape, K.D., Macias-Fauria, M., Sass-Klaassen, U., Lévesque, E., Boudreau, S., Ropars, P., Hermanutz, L., Trant, A., Siegwart Collier, L., Weijers, S., Rozema, J., Rayback, S.A., Martin Schmidt, N., Schaepman-Strub, G., Wipf, S., Rixen, C., Ménard, C.B., Venn, S., Goetz, S., Andreu-Hayles, L., Elmendorf, S., Ravolainen, V., Welker, J., Grogan, P., Epstein, H.E. et Hik, D.S. (2011). « Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities », *Environmental Research Letters*, 6(4), 1–15. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045509>>
- Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R.E., Lehner, B., Malcom, T.R. et Ricketts, T.H. (2008). « Global mapping of ecosystem services and conservation priorities », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9495–9500. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.0707823105>>
- Nakashima, D.J., Galloway McLean, K., Thulstrup, H.D., Ramos Castillo, A. et Rubris, J.T. (2012). « Weathering Uncertainty: Traditional Knowledge for Climate Change Assessment and Adaptation ». UNESCO, Paris, Université des Nations Unies, Darwin, 120 p.
- Nantel, P., Pellatt, M.G., Keenleyside, K. et Gray, P.A. (2014). Biodiversité et aires protégées, Chapitre 6 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatifs aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 159-190. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatifs-aux-impacts-et/16310?ga=2.105025860.653900817.1618232875-286424467.1617901367>>
- Narayan, S., Beck, M.W., Reguero, B.G., Losada, I.J., van Wesenbeeck, B. Pontee, N., Sanchirico, J.N., Ingram, J.C., Lange, G.-M. et Burks-Copes, K.A. (2016). « The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences », *PLoS ONE*, 11(5), e0154735. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154735>>
- Neis, B., Felt, L.F., Haedrich, R.L. et Schneider, D.C. (1999). « An interdisciplinary method for collecting and integrating fishers' ecological knowledge into resource management » dans *Fishing place, fishing people: traditions and issues in Canadian small-scale fisheries*, D. Newell et R.E. Ommer (éd.). Presses de l'Université de Toronto, Toronto, Canada, 217–238.
- Nelson E.J., Kareiva, P., Ruckelshaus, M., Arkema, K., Geller, G., Girvetz, E., Goodrich, D., Matzek, V., Pinsky, M., Reid, W., Saunders, M., Semmens, D. et Tallis, H. (2013). « Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US », *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 483–493. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/120312>>
- Nickels, S. (1999). « Importance of experiential context for understanding indigenous ecological knowledge: the Algonquins of Barriere Lake, Québec » (Dissertation). Université McGill, Montréal, Canada.
- Noongwook, G., Village autochtone de Savoonga, Village autochtone de Gambell, Huntington, H.P. et George, J.C. (2007). « Traditional knowledge of the bowhead whale (*Balaena mysticetus*) around St. Lawrence Island, Alaska », *Arctic*, 60(1), 47–54. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.14430/arctic264>>
- Nowak, D.J. et Crane, D.E. (2001). « Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA », *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389. Consulté en mars 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)>
- Ogden, N.H., Koffi, J.K., Pelcat, Y. et Lindsay, L.R. (2014). « Risque environnemental pour la maladie de Lyme dans l'est et le centre du Canada : un sommaire d'informations récentes en matière de surveillance », *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, 40(5), 74–82. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/rapports-publications/releve-maladies-transmissibles-canada-rmtc/numero-mensuel/2014-40/rmtc-volume-40-5-6-mars-2014/rmtc-volume-40-5-6-mars-2014.html>>

- Okey, T.A., Alidina, H.M., Lo, V. et Jessen, S. (2014). « Effects of climate change on Canada's Pacific marine ecosystems: a summary of scientific knowledge », *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(2), 519–559. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11160-014-9342-1>>
- Olsson, P., Folke, C. et Berkes, F. (2004). « Adaptive co-management for building resilience in social-ecological systems », *Environmental Management*, 34(1), 75–90. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00267-003-0101-7>>
- Organisation de coopération et de développement économiques (2019). Financer la biodiversité, agir pour l'économie et les entreprises. Rapport préparé pour la réunion des ministres de l'Environnement du G7, les 5 et 6 mai 2019. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.oecd.org/fr/env/ressources/biodiversite/biodiversity-finance-and-the-economic-and-business-case-for-action.htm>>
- Palacios-Abrantes, J., Reygondeau, G., Wabnitz, C.C. et Cheung, W.W. (2020). « The transboundary nature of the world's exploited marine species », *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74644-2>>
- Palomo, I. (2017). « Climate change impacts on ecosystem services in high mountain areas: a literature review », *Mountain Research and Development*, 37(2), 179–187. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00110.1>>
- Parlee, B., Berkes, F. et Conseil des ressources renouvelables des Gwich'in Teet'it (2005). « Health of the land, health of the people: a case study on Gwich'in berry harvesting from northern Canada », *EcoHealth*, 2, 127–137. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10393-005-3870-z>>
- Pearce, T., Ford, J., Caron, A. et Kudlak, B.P. (2012). « Climate change adaptation planning in remote, resource-dependent communities: an Arctic example », *Regional Environmental Change*, 12(4), 825–837. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-012-0297-2>>
- Pearce, T., Ford, J., Cunsolo Willox, A. et Smit, B. (2015). « Inuit Traditional Knowledge (TEK), subsistence hunting and adaptation to climate change in the Canadian Arctic », *Arctic*, 68(2), 233–245. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.14430/arctic4475>>
- Pearce, T., Ford, J.D., Duerden, F., Smit, B., Andrachuk, M., Berrang-Ford, L. et Smith, T. (2011). « Advancing adaptation planning for climate change in the Inuvialuit Settlement Region (ISR): A review and critique », *Regional Environmental Change*, 11(1), 1–17. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-010-0126-4>>
- Pearson, R.G., Phillips, S.J., Loranty, M.M., Beck, P.S.A., Damoulas, T., Knight, S.J. et Goetz, S.J. (2013). « Shifts in Arctic vegetation and associated feedbacks under climate change », *Nature Climate Change*, 3, 673–677. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1858>>
- Pithan, F. et Mauritsen, T. (2014). « Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models », *Nature Geoscience*, 7, 181–184. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1038/NGEO2071>>
- PNUE [Programme des Nations Unies pour l'environnement] (2014). « Green Infrastructure: guide for water management, ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9291/-Green%20infrastructure%3a%20guide%20for%20water%20management%20%20-2014unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>
- Poesch, M.S., Chavarie, L., Chu, C., Pandit, S.N. et Tonn, W. (2016). « Climate Change Impacts on Freshwater Fishes: A Canadian Perspective », *Fisheries*, 41(7), 385–391. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/03632415.2016.1180285>>
- Pohl, G.R., Schmidt, B.C., Lafontaine, J.D., Landry, J.-F., Anweiler, G.G. et Bird, C.D. (2014). « Moths and butterflies of the prairies ecozone in Canada » dans *Arthropods of Canadian Grasslands, Volume 4 : Biodiversity and Systematics, Part 2*. Commission biologique du Canada, 169–239; D.J. Giberson et H.A. Cárcamo (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=35856&lang=fr_CA>
- Poloczanska, E.S., Burrows, M.T., Brown, C.J., Garcia Molinos, J., Halpern, B.S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C.V., Moore, P.J., Rochardson, A.J., Schoeman, D.S. et Sydeman, W.J. (2016). « Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans », *Frontiers in Marine Science*, 3(62), 1–21. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00062>>
- Pontee, N. (2013). « Defining coastal squeeze: a discussion », *Ocean & Coastal Management*, 84, 204–207. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.010>>
- Rahman, M.A., Armson, D. et Ennos, A.R. (2015). « A comparison of the growth and cooling effectiveness of five commonly planted urban tree species », *Urban Ecosystems*, 18(2), 371–389. Consulté sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11252-014-0407-7>>
- Raymond, C.M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Geneletti, D. et Calfapietra, C. (2017). « A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas », *Environmental Science & Policy*, 77, 15–24. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>>

- Rees, W.G., Hofgaard, A., Boudreau, S., Cairns, D.M., Harper, K., Mamet, S., Mathisen, I., Swirad, Z. et Tutubalina, O. (2020). « Is subarctic forest advance able to keep pace with climate change? », *Global Change Biology*, 26(7), 3965–3977. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/gcb.15113>>
- Retsa, A., Schelske, O., Wilke, B., Rutherford, G. et de Jong, R. (2020). « Biodiversity and Ecosystem Services: a business case for re/insurance ». Swiss Re Management Ltd., L. Kelly (éd.), 60 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.swissre.com/institute/research/topics-and-risk-dialogues/climate-and-natural-catastrophe-risk/expertise-publication-biodiversity-and-ecosystems-services.html>>
- Rocca, M.E., Brown, P.M., MacDonald, L.H. et Carrico, C.M. (2014). « Climate change impacts on fire regimes and key ecosystem services in Rocky Mountain forests », *Forest Ecology and Management*, 327, 290–305. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.005>>
- Rudmann-Maurer, K., Spehn, E. et Körner, C. (2014). « Biodiversity in Mountains: Nature Heritage Under Threat » dans *Mountains and climate change: a global concern*, Kohler, T., Wehrli, A. et Jurek, M. (éd.). Sustainable Mountain Development Series. Bern, Suisse, Centre pour le développement et l'environnement (CDE), Direction suisse du développement et de la coopération (DDC) et Geographica Bernensia, 136 p.
- Saad, C., Boulanger, Y., Beaudet, M., Gachon, P., Ruel, J.-C. et Gauthier, S. (2017). « Potential impact of climate change on the risk of windthrow in eastern Canada's forests », *Climatic Change*, 143(3-4), 487–501. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-1995-z>>
- Sáenz-Romero, C., O'Neill, G., Aitken, S.N. et Lindig-Ciseros, R. (2021). « Assisted Migration Field Tests in Canada and Mexico: Lessons, Limitations, and Challenges », *Forests*, 12(9), 1–19. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://dx.doi.org/10.3390/f12010009>>
- Savard, J.-P., van Proosdij, D. et O'Carroll, S. (2014). Perspectives relatives à la région de la côte Est du Canada, Chapitre 4 dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 99-152. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391?_ga=2.264920648.653900817.1618232875-286424467.1617901367>
- SCBC [Stewardship Centre for British Columbia] (2020). « Green Shores Case Studies: New Brighton Park Shoareline Habitat Restoration Project ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://stewardshipcentrebc.ca/new-brighton-park/>>
- SCBC [Stewardship Centre for British Columbia] (s.d.). Page d'accueil du Stewardship Centre for British Columbia. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://stewardshipcentrebc.ca/green-shores-home/gs-about/>>
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. et Walker, B. (2001). « Catastrophic shifts in ecosystems », *Nature*, 413, 591–596. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1038/35098000>>
- Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C.L., Hoffmann, A.A., Pandolfi, J.M. et coll. (2016). « The broad footprint of climate change from genes to biomes to people », *Science*, 354(6313), 719–730. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>>
- Scholes, R.J. (2016). « Climate change and ecosystem services », *WIREs Climate Change*, 7(4), 537–550. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.404>>
- Schroeder, D. (2010). « Fire behaviour in thinned jack pine: two case studies of FireSmart treatments in Canada's Northwest Territories », FPInnovations, région de l'Est, Pointe-Claire, Québec et région de l'Ouest, Vancouver, Colombie-Britannique, *Advantage Report*, 12(7), 12.
- Schuster, R., Germain, R.R., Bennett, J.R., Reo, N.J. et Arcese, P. (2019). « Vertebrate biodiversity on indigenous-managed lands in Australia, Brazil, and Canada equals that in protected areas », *Environmental Science and Policy*, 101, 1–6. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.002>>
- Schuur, E.A.G., Bockheim, J., Canadell, E.E., Field, C.B., Goryachkin, S.V., Hagemann, S., Kuhry, P., Laflleur, P.M., Lee, H., Mazhitova, G., Nelson, F.E., Rinke, A., Romanosvsky, V.E., Shiklomanov, N., Tarnocai, C., Venevsky, S., Vogel, J.G. et Zimov, S.A. (2008). « Vulnerability of permafrost carbon to climate change: Implications for the global carbon cycle », *BioScience*, 58(8), 701–714. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1641/B580807>>
- Schuur, E.A.G., McGuire, A.D., Schädel, C., Grosse, G., Harden, J.W., Hayes, D.J., Hugelius, G., Koven, C.D., Kuhry, P., Lawrence, D.M., Natali, S.M., Olefeldt, D., Romanovsky, V.E., Schaefer, K., Turetsky, M.R., Treat, C.C. et Vonk, J.E. (2015). « Climate change and the permafrost carbon feedback », *Nature*, 520, 171–179. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nature14338>>
- Screen, J.A. et Simmonds, I. (2010). « The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification », *Nature*, 464, 1334–1337. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1038/nature09051>>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A.J., Smith, A. et Turner, B. (2020). « Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges », *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>>

SENEs Consultants Ltd. (2011). « Kingston's Urban Forest Management Plan: a plan for city-owned trees ». Préparé pour la ville de Kingston. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.cityofkingston.ca/residents/environment-sustainability/nature-forests-gardens/urban-forest-management-plan>>

Service canadien des glaces (2007). « Canadian Ice Service digital archive – regional charts: Canadian Ice Service ice regime regions (CISIRR) and sub-regions with associated data quality indices ». Service canadien des glaces, Archive Documentation Series, no 3, 90 p.

Sherren, K., Bowron, T., Graham, J.M., Rahman, H.M.T. et van Proosdij, D. (2019). Réalignement d'infrastructures côtières et restauration d'un marais salé en Nouvelle-Écosse (Canada), Chapitre 5 dans *Hausse du niveau des mers : Les approches des pays de l'OCDE face aux risques côtiers*, 111–135, Éditions OCDE, Paris, France. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.oecd-ilibrary.org/fr/environment/hausse-du-niveau-des-mers_9789264312999-fr>

Shreve, C.M. et Kelman, I. (2014). « Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction », *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10(A), 213–235. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.08.004>>

Shugar, D.H. et Clague, J.J. (2018). « Changing glaciers, changing rivers » dans *State of the Mountains Report*, Parrott, L., Robinson, Z. et Hik, D. (éd.). Alpine Club of Canada, Canmore, Alberta, 23 p.

Sinnett, D. (2018). « Mitigating air pollution and the urban heat island effect: The roles of urban trees » dans *Handbook of Urban Ecology*, Routledge [Sous presse]. I. Douglas, D. Goode, M. Houck et D. Maddox (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <<http://eprints.uwe.ac.uk/38014>>

SNC-Lavalin Inc. (2018). « Design Basis for the Living Dike Concept ». Rapport préparé pour West Coast Environment Law. Document no : 644868-1000-41EB-0001, Rev 1. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.wcel.org/publication/design-basis-living-dike-concept>>

Statistique Canada (2013). L'activité humaine et l'environnement : Mesure des biens et services écosystémiques au Canada. Statistique Canada, Division des comptes et de la statistique de l'environnement. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/16-201-x/16-201-x2013000-fra.pdf?st=jS_oifjP>

Staudt A., Leidner, A.K., Howard, J., Brauman, K.A., Dukes, J.S., Hansen, L.J., Paukert, C., Sabo, J. et Solórzano, L.A. (2013). « The added complications of climate change: understanding and managing biodiversity and ecosystems », *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(9), 494–501. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/120275>>

Ste-Marie, C. (2014). Adapter l'aménagement forestier durable aux changements climatiques : examen de la migration assistée des espèces d'arbres et de son rôle potentiel dans l'adaptation de l'aménagement forestier durable aux changements climatiques. Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa, Ontario. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ccmf.org/communiqu%C3%A9s/adapter-lamenagement-forestier-durable-aux-changements-climatiques-examen-de-la-migration-assistee-des-especes-darbres-et-de-son-role-potentiel-dans-ladaptation-de-l/>>

Stern, G.A. et Gaden, A. (2015). « Synthesis and Recommendations » dans *Science to Policy in the Western and Central Canadian Arctic: An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of Climate Change and Modernization*, Bell, T. et Brown, T. (éd.). ArcticNet, ville de Québec, 40 p. Consulté en mars 2021 sur le site <http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/media/29170_IRIS_East_full%20report_web.pdf>

Stewart, E.J., Dawson, J., Howell, S.E.L., Johnston, M.E., Pearce, T. et Lemelin, H. (2012). « Local-level responses to sea ice change and cruise tourism in Arctic Canada's Northwest Passage », *Polar Geography*, 36(1-2), 142–162. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/1088937X.2012.705352>>

Stirling, I. et Derocher, A.E. (2012). « Effects of climate warming on polar bears: a review of the evidence », *Global Change Biology*, 18(9), 2694–2706. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02753.x>>

Stralberg, D., Wang, X., Parisien, M. A., Robinne, F.N., Sólymos, P., Mahon, C.L., Nielsen, S.E. et Bayne, E.M. (2018). « Wildfire-mediated vegetation change in boreal forests of Alberta, Canada », *Ecosphere*, 9(3), e02156. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/ecs2.2156>>

Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J. et Woods, A.J. (2011). « Climate change and forest diseases », *Plant Pathology*, 60(1), 133–149. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>>

Tarnocai, C., Canadell, J.G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P., Mazhitova, G. et Zimov, S. (2009). « Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region », *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2). Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1029/2008GB003327>>

Taylor, R.B., Forbes, D.L., Frobel, D., Manson, G.K. et Shaw, J. (2014). « Coastal geoscience studies at the Bedford Institute of Oceanography, 1962–2012 » dans *Voyage of Discovery: Fifty Years of Marine Research at Canada's Bedford Institute of Oceanography*, D.N. Nettleship, D.C. Gordon, C.F.M. Lewis et M.P. Latremouille (éd.), Association des amis de l'océan de l'Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, Nouvelle-Écosse, 197–204.

- TEEB [L'économie des écosystèmes et de la biodiversité] (2010). L'économie des écosystèmes et de la biodiversité : fondements écologiques et économiques, P. Kumar (éd.). Earthscan, Londres et Washington, D.C., 456 p.
- Tennant, C. et Menounos, B. (2013). « Glacier change of the Columbia Icefield, Canadian Rocky Mountains, 1919–2009 », *Journal of Glaciology*, 59(216), 671–686. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3189/2013JoG12J135>>
- Van der Putten, W.H., Macel, M. et Visser, M.E. (2010). « Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels », *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), 2025–2034. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0037>>
- Van Lierop, P., Lindquist, E., Sathyapala, S. et Franceschini, G. (2015). « Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events », *Forest Ecology and Management*, 352, 78–88. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.010>>
- van Proosdij, D., MacIsaac, B., Christian, M. et Poirier, E. (2016). « Guidance for Selecting Adaptation Options, Part 1 » dans *Adapting to Climate Change in Coastal Communities of the Atlantic Provinces, Canada: Land use Planning and Engineering and Natural Approaches – Part 3 Engineering Tools Adaptation Options*, V. Leys et D. Bryce (éd.). Consulté en mars 2021 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/fr/islandora/object/acasa%3A789>>
- VanDerWal, J., Murphy, H.T., Kutt, A.S., Perkins, G.C., Bateman, B.L., Perry, J.J. et Reside, A.E. (2013). « Focus on poleward shifts in species' distribution underestimates the fingerprint of climate change », *Nature Climate Change*, 3, 239–243. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1688>>
- Vavrus, S.J., Holland, M.M., Jahn, A., Bailey, D.A. et Blazey, B.A. (2012). « Twenty-first-century Arctic climate change in CCSM4 », *Journal of Climate*, 25(8), 2696–2710. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00220.1>>
- Ville de Kingston (2019). « Official Plan ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.cityofkingston.ca/documents/10180/541790/Official+Plan/17793cad-90db-4651-8092-16c587600001>>
- Ville de Kingston (2021). « Urban Forest Management Plan ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.cityofkingston.ca/resident/trees-nature/urban-forest-management-plan>>
- Wamsler, C., Niven, L., Beery, T.H., Bramryd, T., Ekelund, N., Jönsson, K.I., Osmani, A., Palo, T. et Stålhammar, S. (2016). « Operationalizing ecosystem-based adaptation: harnessing ecosystem services to buffer communities against climate change », *Ecology and Society*, 21(1), 31. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.5751/ES-08266-210131>>
- Wang, X., VandenBygaart, A.J. et McConkey, B.C. (2014). « Land Management History of Canadian Grasslands and the Impact on Soil Carbon Storage », *Rangeland Ecology and Management*, 67(4), 333–343. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.2111/REM-D-14-00006.1>>
- Wassmann, P., Duarte, C.M., Agustí, S. et Sejr, M.K. (2011). « Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem », *Global Change Biology*, 17(2), 1235–1249. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02311.x>>
- Waterline Resources Inc., (2013). « Aquifer mapping study, Town of Gibsons, British Columbia ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://gibsons.ca/wp-content/uploads/2018/01/Aquifer-Mapping-Report-Final.pdf>>
- Watson, J.E.M., Venter, O., Lee, J., Jones, K.R., Robinson, J.G., Possingham, H.P. et Allan, J.R. (2018). « Protect the last of the wild », *Nature*, 563, 27–30. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/d41586-018-07183-6>>
- Weed, A.S., Ayres, M.P. et Hicke, J.A. (2013). « Consequences of climate change for biotic disturbances in North American Forests », *Ecological Monographs*, 83(4), 441–470. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1890/13-0160.1>>
- Wei, H., Fan, W., Wang, X., Lu, N., Dong, X., Zhao, Y., Ya, X. et Zhao, Y. (2017). « Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review », *Ecosystem Services*, 25, 15–27. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.017>>
- Wesche, S.D. et Chan, H.M. (2010). « Adapting to the impacts of climate change on food security among Inuit in the western Canadian Arctic », *EcoHealth*, 7(3), 361–373. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10393-010-0344-8>>
- Wilson, J., Trenholm, R., Bornemann, J. et Lieske, D. (2012). « Forecasting Economic Damages from Storm Surge Flooding: A Case Study in the Tantramar Region of New Brunswick ». Préparé pour l'Association des solutions d'adaptation aux changements climatiques de l'Atlantique. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/fr/islandora/object/acasa%253A722>>
- Würzler, S.T., Jonas, T., Wever, N. et Lehning, M. (2016). « Influence of Initial Snowpack Properties on Runoff Formation during Rain-on-Snow Events », *Journal of Hydrometeorology*, 17(6), 1801–1815. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0181.1>>
- Yang, L.H. et Rudolf, V.H.W. (2009). « Phenology, ontogeny and the effects of climate change on the timing of species interactions », *Ecology Letters* 13(1), 1–10. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01402.x>>



Yang, Z., Wang, T., Leung, R., Hibbard, K., Janetos, T., Kraucunas, I., Rice, J., Preston, B. et Wilbanks, T. (2014). « A modeling study of coastal inundation induced by storm surge, sea-level rise, and subsidence in the Gulf of Mexico », *Natural Hazards*, 71(3), 1771–1794. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0974-6>>

Yellowstone to Yukon Conservation Initiative (s.d.). « Connecting and protecting habitat from Yellowstone to Yukon so people and nature can thrive ». Consulté en mars 2021 sur le site <y2y.net>

Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V.V. (2019). Les changements de température et de précipitations au Canada, Chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 112-193. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/4-0/>>

ZICO [Zones importantes pour la conservation des oiseaux] Canada (s.d.). ZICO Résumé de Site BC017 : « Boundary Bay – Roberts Bank – Sturgeon Bank (Fraser River Estuary) ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.ibacanada.ca/site.jsp?siteID=BC017&lang=fr>>

5.9 Annexe 1

Le tableau suivant a été élaboré par les membres du collectif d’auteurs pour ce chapitre et reflète leur avis d’expert sur les façons dont les changements climatiques affectent les services écosystémiques au Canada, les conséquences sociales et économiques de ces impacts et les possibilités connexes d’approches fondées sur la nature pour l’adaptation et/ou la réduction des émissions de GES.

Tableau 5.4 : Services écosystémiques, occasions et menaces

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d’adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
CONTRIBUTIONS RÉGULATRICES			
<p>Maintien des options</p> <p>(c.-à-d. la capacité des écosystèmes à fournir des services et à maintenir des options pour les générations actuelles et futures)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Changement d’utilisation des terres entraînant la disparition d’espèces et d’écosystèmes ainsi que la perte de stockage de carbone • Sources d’eau dégradées 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des coûts pour la société • Prévalence accrue de maladies • Options limitées pour les générations futures • Perte de cultures, de pratiques, de langues et de connaissances locales 	<ul style="list-style-type: none"> • Protection d’espèces et d’écosystèmes (p. ex. aires protégées et de conservation autochtones) • Restauration des écosystèmes

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
<p>Régulation du climat</p> <p>(c.-à-d. la capacité des écosystèmes à séquestrer et à stocker le carbone)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Changement d'utilisation des terres et déforestation entraînant une réduction des taux de séquestration du carbone• Modification de la dynamique des populations de vecteurs• Impacts sur l'eau et sur la sécurité alimentaire• Réduction de la biodiversité	<ul style="list-style-type: none">• Perte de moyens de subsistance (p. ex. écotourisme, pêche et sylviculture)• Réduction de la sécurité de l'approvisionnement en eau et de la sécurité alimentaire• Pertes économiques liées aux inondations, à la sécheresse et à la perte de terres• Survenance de réfugiés climatiques	<ul style="list-style-type: none">• Infrastructure verte• Reboisement et restauration des écosystèmes• Aménagement urbain respectueux du climat, biomimétisme
<p>Régulation de la quantité d'eau douce, de son débit et de la répartition des précipitations pendant l'année</p> <p>(c.-à-d. l'utilisation de l'eau douce pour la consommation domestique, l'agriculture, l'industrie, le transport et les loisirs)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Modification de la stabilité saisonnière et de la répartition dans le temps des approvisionnements en eau• Épuisement des aquifères et des débits de base des cours d'eau et des rivières• Déglaciation• Perte du couvert végétal	<ul style="list-style-type: none">• Recours accru aux solutions technologiques pour le stockage et le transport de l'eau• Impacts sur la santé humaine• Impacts sur les moyens de subsistance• Inondations et coûts sociaux, sanitaires et économiques associés	<ul style="list-style-type: none">• Restauration des écosystèmes d'eau douce• Amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau• Infrastructures vertes (p. ex. création de terres humides)• Diminution des surfaces imperméables• Augmentation de la végétation naturelle dans les zones urbaines et semi-urbaines

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
<p>Régulation de la qualité des eaux douces et des eaux côtières</p> <p>(c.-à-d. la fourniture d'une eau de haute qualité pour la consommation humaine, la biodiversité et le développement économique)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Modification de la dynamique des populations de vecteurs• Augmentation de la prévalence des maladies et des ravageurs• Changement d'utilisation des terres dans les écosystèmes des hautes terres• Contamination suite à des catastrophes naturelles, notamment des inondations	<ul style="list-style-type: none">• Impacts sur la santé publique• Augmentation des maladies/coûts des soins de santé en raison de la contamination de l'eau• Perte économique	<ul style="list-style-type: none">• Protection des écosystèmes des hautes terres• Révision de la réglementation sur les eaux usées pour exiger un traitement tertiaire et la récupération des ressources
<p>Régulation des risques naturels et des phénomènes extrêmes</p> <p>(c.-à-d. les écosystèmes sains et biodiversifiés réduisent les impacts des incendies, des inondations, des glissements de terrain, de la sécheresse et des chaleurs extrêmes)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Perte de communautés végétales et animales• Réduction du stockage à long terme des eaux souterraines• Impacts de la chaleur extrême, de la sécheresse et des incendies sur le fonctionnement des écosystèmes• Écosystèmes forestiers vulnérables aux incendies	<ul style="list-style-type: none">• Mortalité• Dommages• Perte économique• Augmentation du coût d'atténuation des risques pour la société• Coût de renonciation	<ul style="list-style-type: none">• Infrastructures vertes pour atténuer les impacts des phénomènes extrêmes• Utilisation de la nature comme espace de refuge et de récupération après des phénomènes extrêmes• Incitations à évacuer les zones inondables et à restaurer les écosystèmes naturels au lieu de construire des digues

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
<p>Création et préservation de l'habitat</p> <p>(c.-à-d. un habitat naturel suffisamment intact pour soutenir la biodiversité)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Changement d'utilisation des terres entraînant une perte de services écosystémiques• Déplacement des aires de répartition des espèces• Perturbation	<ul style="list-style-type: none">• Coût de renonciation• Réduction de la population d'espèces ayant une importance culturelle et économique pour les collectivités	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation de la connectivité des écosystèmes• Infrastructures vertes dans les zones urbaines• Connectivité entre les voies de transport
<p>Régulation de la qualité de l'air</p> <p>(c.-à-d. l'échange de gaz à l'état de traces et le dépôt de matières particulaires par les écosystèmes)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Capacité réduite de régulation en raison d'une pollution excessive• Exploitation des forêts	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des maladies et de la mortalité• Augmentation des coûts liés aux soins de santé	<ul style="list-style-type: none">• Infrastructures vertes dans les zones urbaines pour accroître les services (p. ex. plantation d'arbres)• Reforestation et restauration des écosystèmes
<p>Régulation des organismes nuisibles à la population humaine</p> <p>(c.-à-d. la contribution de la biodiversité et des écosystèmes à la santé humaine)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Disparition d'habitat• Changement d'utilisation des terres• Modification de la dynamique des populations de vecteurs• Augmentation espèces exotiques envahissantes• Perte de la biodiversité; modification de l'aire de répartition des espèces	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des maladies et de la mortalité liées à des conditions climatiques extrêmes et à des maladies hydriques• Augmentation des coûts liés aux soins de santé• Pertes économiques	<ul style="list-style-type: none">• Favoriser une plus grande biodiversité dans tous les systèmes• Gestion des espèces vecteurs

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
<p>Pollinisation et dispersion de graines et autres propagules</p> <p>(c.-à-d. le rôle des espèces pollinisatrices dans la reproduction des plantes, la production alimentaire et le maintien de la biodiversité terrestre)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Disparition d'habitat• Manque de diversité dans les systèmes• Pollution environnementale• Introduction d'espèces exotiques	<ul style="list-style-type: none">• Pertes économiques• Perte de traditions et de diversité culturelles• Sécurité alimentaire réduite• Perte d'aliments pollinisés et de cultures de plantes médicinales	<ul style="list-style-type: none">• Favoriser une plus grande biodiversité dans tous les systèmes• Infrastructure verte (p. ex. pour accroître la connectivité des systèmes, fournir un habitat et des sources de nourriture)• Accroître la diversité des systèmes alimentaires
<p>Régulation de l'acidification des océans</p> <p>(c.-à-d. la contribution des écosystèmes océaniques à la régulation du climat)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Disparition d'écosystèmes côtiers entraînant la perte de possibilités d'atténuation.• Pollution environnementale• Introduction d'espèces exotiques	<ul style="list-style-type: none">• Perte économique (diminution des pêches aux coquillages commerciales et de subsistance)• Baisse du tourisme côtier• Perte de moyens de subsistance et de secteurs économiques entiers dans certains endroits	<ul style="list-style-type: none">• Protection des habitats côtiers



Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
<p>Formation, protection et décontamination des sols et des sédiments</p> <p>(p. ex. le rôle du sol dans la fourniture d'eau et de nutriments pour la végétation terrestre; les cycles du carbone et de l'azote à l'échelle planétaire)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Le changement d'utilisation des terres contribuant à la perte de sol et à l'érosion• Perte de stockage du carbone• Réduction de la quantité et de la qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none">• Perte économique• Risques accrus de maladies causées par des organismes nuisibles et des agents pathogènes• Sécurité alimentaire (aliments moins nutritifs)• Inondations et relocalisations liées à l'élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none">• Pratiques de gestion de la biodiversité des sols• Pratiques agricoles à faible niveau d'intrants



Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
-------------------------	--	--	---

CONTRIBUTIONS MATÉRIELLES

<p>Aliments pour consommation humaine et animale</p> <p>(p. ex. cultures, bétail, pêche, aquaculture, aliments sauvages)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concurrence pour les terres, l'eau et l'énergie • Surexploitation • Disponibilité de terres présentant des conditions climatiques et pédologiques adéquates • Accessibilité des sources d'eau pour l'irrigation • Augmentation de la prévalence d'organismes nuisibles et de contaminants toxiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de moyens de subsistance et de secteurs économiques entiers dans certains endroits • Réduction de la sécurité alimentaire (en raison des impacts sur les cultures et sur les pêches) • Perte économique • Dépression et diminution de la sécurité d'emploi pour les travailleurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Promouvoir la régulation naturelle des organismes nuisibles • Gestion des services de régulation pour la résilience du système • Gestion des terres humides pour le contrôle des inondations • Réglementation en matière de gestion de l'utilisation des terres qui élargit ou préserve les zones de conservation et les zones agricoles • Déplacer la production plus au nord lorsque les exigences écologiques des espèces le permettent
---	--	---	--

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
Matériaux et assistance (p. ex. bois et fibres pour les matériaux de construction, vêtements et matières premières)	<ul style="list-style-type: none">• Gestion des feux• Dégradation des sols• Réduction de la régulation de l'eau et de la qualité de l'eau• Entrave aux capacités de stockage du carbone• Surexploitation• Réduction de la diversité des espèces• Intégrité de l'écosystème perturbée	<ul style="list-style-type: none">• Perte de moyens de subsistance et de secteurs économiques entiers dans certains endroits• Perte de traditions et de diversité culturelles• Sécurité moindre causée par l'augmentation des incendies	<ul style="list-style-type: none">• Gestion des feux• Gestion naturelle des organismes nuisibles• Exigences du code du bâtiment pour les constructions en bois
Énergie (p. ex. charbon de bois, hydroélectricité, éolien, biomasse, énergie solaire, géothermie)	<ul style="list-style-type: none">• Une utilisation accrue d'énergies renouvelables• Concurrence pour les terres, l'eau et l'énergie• Impacts sur la biodiversité	<ul style="list-style-type: none">• Impacts sur la sécurité alimentaire et la santé humaine• Perte de moyens de subsistance	
Ressources médicinales, biochimiques et génétiques (p. ex. remèdes dérivés de ressources biochimiques et génétiques)	<ul style="list-style-type: none">• Perte de biodiversité en lien avec le climat• Espèces envahissantes• Surexploitation	<ul style="list-style-type: none">• Perte de traditions et de diversité culturelles• Impacts sur la santé humaine• Risques liés aux maladies	

Services écosystémiques	Menaces des changements climatiques envers les services écosystémiques	Conséquences sociales et économiques des impacts des changements climatiques sur les services écosystémiques	Possibilités d'adaptation fondées sur la nature et/ou de réduction des émissions de GES
CONTRIBUTIONS NON MATÉRIELLES			
<p>Apprentissage et inspiration</p> <p>(c.-à-d. des possibilités de recherche scientifique, d'art, de restauration et d'inspiration fondées sur la nature)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Changement d'utilisation des terres associé aux zones urbaines • Surexploitation des ressources • Perte de la culture et des coutumes locales 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de culture, d'identité • Diminution du bien-être 	<ul style="list-style-type: none"> • Favoriser une plus grande biodiversité dans tous les systèmes • Gestion axée sur les écosystèmes clés, la biodiversité
<p>Soutien des identités</p> <p>(c.-à-d. les lieux physiques qui sont symboliques ou qui font partie des relations sociales formant les identités culturelles)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de cultures, de pratiques, de langues et de connaissances locales • Disponibilité restreinte des ressources locales • Perte de la biodiversité d'importance 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts sur la culture, l'identité, le bien-être émotionnel et social. • Diminution du bien-être; impacts sur la santé mentale • Perte de l'économie de subsistance 	<ul style="list-style-type: none"> • Modélisation socioécologique pour comprendre les impacts des changements climatiques sur l'identité • Les aires protégées et de conservation autochtones (APCA)
<p>Expériences physiques et psychologiques</p> <p>(c.-à-d. l'importance de la nature pour la santé physique et mentale)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Changement dans l'utilisation des terres entraînant un accès restreint à la nature. • Perte de la culture et des coutumes locales 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts sur la culture, l'identité, le bien-être émotionnel et social 	

Source : Ce tableau repose sur les avis d'expert du collectif d'auteurs.



CHAPITRE 6

Coûts liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation

RAPPORT SUR LES ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement du Canada / Government of Canada

Canada



Auteurs coordonnateurs principaux

Richard Boyd, Ph. D., All One Sky Foundation

Anil Markandya, Ph. D., Basque Centre for Climate Change

Citation recommandée

Boyd, R. et A. Markandya (2021). Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation, chapitre 6 dans *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario.

Table des matières

Messages clés	387
6.1 Introduction	389
6.1.1 Introduction	389
6.1.2 Contexte	390
6.2 L'analyse économique contribue à éclairer la planification de l'adaptation	392
6.2.1 Introduction	392
6.2.2 Points d'entrée de l'analyse économique des cadres de gestion des risques	392
6.2.3 Évolution vers une planification de l'adaptation centrée sur les politiques	395
6.2.4 Accent sur l'adaptation précoce et sur l'échéancier et l'échelonnement des mesures	397
6.2.5 Implications de l'évolution des pratiques pour l'analyse économique	398
6.3 L'étendue des coûts économiques et sociaux induits par les changements climatiques	400
6.3.1 Coûts directs et indirects	400
6.3.2 Coûts macroéconomiques	401
6.3.3 Pertes de bien-être	402
6.3.4 Avantages et autres impacts connexes	402
6.3.5 Coûts privés et sociaux	403
Étude de cas 6.1 : Les mesures climatiques prises par les villes du monde entier entraînent des avantages connexes	404
6.4 Les coûts liés aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en hausse	405
6.4.1 Introduction	405
6.4.2 Tendances mondiales en matière de dommages	406
6.4.3 Tendances en matière de dommages au Canada	409
6.4.4 Qu'est-ce qui influence la hausse des pertes?	412
6.5 Les coûts futurs des changements climatiques seront élevés pour le Canada	414
6.5.1 Introduction	415
6.5.2 Évaluations nationales multisectorielles des coûts	416
Étude de cas 6.2 : L'impact des changements climatiques sur le travail et la production	421
6.5.3 Évaluation des coûts sectoriels et régionaux	423
6.5.4 Évaluation des coûts municipaux	427

Étude de cas 6.3 : Évaluation par la Ville d'Edmonton des coûts nets engendrés par les changements climatiques	428
6.6 Outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie pour l'évaluation des options d'adaptation	433
6.6.1 Introduction	433
6.6.2 Critères de décision	434
6.6.3 Outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie	438
6.6.4 Principaux défis méthodologiques	443
Étude de cas 6.4 : Gestion de l'incertitude dans l'évaluation des options d'adaptation pour faire face à l'élévation du niveau de la mer à Londres, au Royaume-Uni	450
6.7 Les avantages des mesures d'adaptation au Canada compensent les coûts	458
6.7.1 Analyse économique des options en matière d'adaptation au Canada	459
Étude de cas 6.5 : Évaluation des coûts et des avantages des options en matière d'adaptation pour les zones côtières du Québec et du Canada atlantique	461
Étude de cas 6.6 : Prise en compte des avantages connexes dans l'évaluation économique des mesures d'adaptation pour la rétention d'eau à Pelly's Lake, au Manitoba	466
6.7.2 Les arguments économiques en faveur de l'adaptation	469
6.7.3 Dommages résiduels	472
6.8 Il existe des obstacles et des limites économiques à l'adaptation	472
6.8.1 Introduction	473
6.8.2 Les obstacles et les limites de l'adaptation d'un point de vue économique	473
6.8.3 Rôle des gouvernements	477
6.9 Aller de l'avant	478
6.9.1 Les coûts de l'inaction	478
6.9.2 Les coûts et les avantages de l'adaptation	480
6.9.3 Nouveaux enjeux	481
6.10 Conclusion	482
6.11 Références	486
6.12 Annexes	501
Annexe 6.1 : Résumé de certaines études nationales et régionales sur les conséquences économiques des changements climatiques pour certains secteurs sensibles au climat au Canada	501
Annexe 6.2 : Résumé de quelques études choisies sur les conséquences économiques des changements climatiques pour les municipalités canadiennes	522
Annexe 6.3 : Qu'est-ce que l'actualisation?	527



Annexe 6.4 : Résumé de quelques évaluations économiques choisies de mesures d'adaptation au Canada qui utilisent un outil d'analyse coûts-avantages	528
Annexe 6.5 : Utilisation des pondérations d'équité pour tenir compte de la répartition des coûts et des avantages	546

Messages clés

L'analyse économique contribue à éclairer la planification de l'adaptation (voir la section 6.2)

Face à des ressources limitées et à des priorités concurrentes, les décideurs peuvent utiliser l'analyse économique pour clarifier les compromis et plaider en faveur de l'allocation des ressources à des mesures d'adaptation particulières en obtenant des informations sur les coûts et les avantages des différentes options.

L'étendue des coûts économiques et sociaux induits par les changements climatiques (voir la section 6.3)

Les changements climatiques induisent un vaste ensemble de coûts directs et indirects, avec de nombreuses implications économiques et sociales. Les mesures d'adaptation aux changements climatiques peuvent apporter des avantages connexes considérables dans d'autres domaines, mais peuvent également entraîner des coûts imprévus.

Les coûts liés aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en hausse (voir la section 6.4)

Les coûts associés aux dommages causés par les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada sont importants et en hausse, principalement en raison d'une exposition aux risques croissante et de l'augmentation de la valeur des actifs. L'ampleur des coûts suggère que les ménages, les collectivités, les entreprises et les infrastructures ne sont pas suffisamment adaptés aux conditions climatiques actuelles et à la variabilité du climat.

Les coûts futurs des changements climatiques seront élevés pour le Canada (voir la section 6.5)

Bien que les changements climatiques présentent certains avantages pour le Canada, les impacts économiques connexes sont extrêmement négatifs. La plupart des données probantes disponibles ne couvrent qu'un sous-ensemble de l'étendue des impacts économiques potentiels des changements climatiques pour le Canada. Les coûts anticipés sont vraisemblablement très conservateurs.

Outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie pour l'évaluation des options d'adaptation (voir la section 6.6)

Les sciences économiques offrent une gamme d'outils pour aider les décideurs à évaluer les mesures d'adaptation, à comprendre les compromis et à générer des informations sur les coûts et les avantages des différentes options. L'outil économique à privilégier dépend des critères de décision en matière d'adaptation, de la nature des impacts des changements climatiques et du niveau d'incertitude.

Les avantages des mesures d'adaptation au Canada compensent les coûts (voir la section 6.7)

Les avantages des mesures de planification de l'adaptation aux changements climatiques au Canada dépassent généralement les coûts, parfois de manière importante, ce qui justifie fortement l'analyse de rentabilisation des investissements proactifs dans l'adaptation. Même lorsque des adaptations avantageuses sont adoptées, des coûts de dommages résiduels sont souvent encore engagés, ce qui suggère qu'il existe des limites économiques à l'adaptation.

Il existe des obstacles et des limites économiques à l'adaptation (voir la section 6.8)

Il existe toute une série d'obstacles écologiques, technologiques, économiques et institutionnels à l'adaptation, ce qui limite les possibilités de réduire les effets néfastes des changements climatiques et de tirer avantage des nouvelles possibilités. Les gouvernements peuvent jouer un rôle important dans la prise en compte de ces obstacles, même si un niveau d'adaptation économiquement efficace impliquera vraisemblablement certains coûts résiduels.

6.1 Introduction

6.1.1 Introduction

Les changements climatiques ont déjà des impacts économiques et ils en auront de plus en plus à l'avenir. Ces impacts touchent différents aspects de l'économie, de la santé publique et de l'environnement naturel. L'évaluation des impacts économiques des changements climatiques est une entreprise complexe, avec des incertitudes considérables concernant l'ampleur des impacts biophysiques futurs et la valeur monétaire de ces impacts. Nonobstant ces difficultés, les économistes examinent la relation entre les changements climatiques et les impacts économiques depuis plus de 20 ans. En 2011, par exemple, la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) a estimé le coût moyen futur d'un scénario de croissance rapide et de changements climatiques importants pour le Canada à 35 à 62 milliards de dollars (en dollars de 2019) par an d'ici 2050, avec une probabilité de 5 % que les coûts puissent dépasser 72 à 131 milliards de dollars par an (TRNEE, 2011).

Les informations sur les conséquences économiques des changements climatiques, ainsi que sur les coûts et les avantages des solutions de rechange, sont de plus en plus demandées par un large éventail d'acteurs des secteurs privé et public. Ces informations sont nécessaires pour éclairer les décisions d'allocation des ressources en fonction des risques réels et des risques anticipés liés aux changements climatiques (National Research Council, 2010, 2009). Deux options de mesures génériques sont disponibles : les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et les mesures d'adaptation (voir l'encadré 1.2 du Rapport sur le climat changeant du Canada). Un mélange des deux options sera nécessaire pour parvenir à une réponse stratégique efficace. En effet, d'un point de vue économique, les coûts totaux associés aux changements climatiques ne peuvent être réduits au minimum que par une combinaison de mesures de réduction des émissions de GES et de mesures d'adaptation (p. ex. Agrawala et coll., 2011; de Bruin et coll., 2009a).

Historiquement, la profession d'économiste est davantage axée sur la réduction des émissions de GES (Fankhauser, 2017), bien que le nombre d'études sur les coûts et les avantages des mesures d'adaptation augmente. Le cinquième Rapport d'évaluation (RE5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a consacré un chapitre entier à l'économie de l'adaptation (Chambwera et coll., 2014) et plusieurs autres examens récents ont également porté sur ce sujet (p. ex. Kahn, 2016; Rouillard et coll., 2016a; Markandya et coll., 2014).

Ce chapitre évalue l'état des connaissances et des pratiques sur les impacts des changements climatiques et les aspects économiques de l'adaptation au Canada. Il répond aux questions suivantes : Que savons-nous au sujet des coûts économiques des changements climatiques pour le Canada? Quelle est la répartition de ces coûts entre les différentes régions, secteurs et centres de population? Quels sont les coûts et les avantages des mesures prises pour modérer les dommages potentiels ou pour saisir les occasions avantageuses? Quels sont les outils et les méthodes économiques que les praticiens peuvent utiliser pour répondre à ces questions? Les décideurs ont besoin de réponses à ces questions afin d'allouer les maigres ressources publiques et privées à l'adaptation aux changements climatiques, et d'assurer que ces ressources

sont dirigées vers les mesures les plus efficaces. Ce chapitre intéressera un large éventail de décideurs, d'économistes et de praticiens à tous les niveaux de gouvernement, ainsi que les entreprises opérant dans des secteurs tributaires du climat.

6.1.2 Contexte

Depuis plusieurs décennies, les phénomènes météorologiques extrêmes – tels que les incendies de forêt, les inondations, les vagues de chaleur et les tempêtes – ont causé des milliards de dollars de dommages économiques annuels dans le monde entier (Aon, 2020; Swiss Re Institute, 2020). Depuis 1980, les dommages cumulés à travers le monde ont dépassé 4,9 billions de dollars (en dollars de 2019)¹ (Munich RE, 2020). Les États-Unis, à eux seuls, ont subi environ 2,2 billions de dollars (en dollars de 2019) de dommages résultant de 265 catastrophes météorologiques et climatiques au cours des 40 dernières années (National Centers for Environmental Information, 2020). Sur une période similaire, les dommages au Canada se sont élevés à environ 31 milliards de dollars (en dollars de 2019) (Sécurité publique Canada, 2020). Les dommages corrigés en fonction de l'inflation ont également connu une tendance à la hausse, tant au niveau mondial qu'au niveau régional et au Canada (voir la section 6.4.2; Aon, 2020; National Centers for Environmental Information, 2020; Bureau d'assurance du Canada, 2019).

Les changements climatiques ont augmenté la probabilité de voir se produire certains types de phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes (Zhang et coll., 2019; National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2016) et devraient intensifier certains phénomènes à l'avenir (Bush et Lemmen, 2019). Selon les projections, les changements climatiques constants devraient entraîner des centaines de billions de dollars de dommages économiques à l'échelle mondiale en 2100 (Warren et coll., 2018), à la fois en raison de l'intensification de certains extrêmes climatiques et des conséquences des tendances climatiques à évolution lente (p. ex. des phénomènes comme l'élévation du niveau de la mer et la fonte du pergélisol). Une étude récente, par exemple, suggère qu'une augmentation persistante de la température mondiale moyenne de 0,04°C par an (ce qui correspond à un scénario sans changement de politique important et avec des émissions continues de GES) réduira la production économique mondiale par habitant d'environ 7,2 % par rapport à ce qu'elle serait en 2100. Les baisses prévues de la production par habitant aux États-Unis et au Canada sont encore plus élevées, soit à 10,5 % et à 13,1 % respectivement (Kahn et coll., 2019).

L'adaptation peut réduire considérablement les coûts prévus des changements climatiques de plusieurs milliards de dollars par an (U.S. Global Change Research Program, 2018), bien qu'il soit peu probable qu'elle puisse compenser entièrement les dommages économiques (voir la section 6.8.2). Des politiques ambitieuses de réduction des émissions mondiales de GES sont également nécessaires pour limiter les impacts négatifs des changements climatiques (OCDE, 2015; Agrawala et coll., 2011; de Bruin et Dellink, 2011; Wang et McCarl, 2011). Cependant, l'adaptation n'est pas sans coût. Au niveau mondial, on estime que les besoins d'investissement pour l'adaptation aux changements climatiques dans les pays industrialisés atteindront 29 à 138 milliards de dollars US (en dollars de 2019) par an d'ici 2030 (CCNUCC, 2007). L'adaptation des littoraux et des infrastructures d'eau, de transport et d'énergie aux États-Unis pourrait coûter des dizaines voire des centaines de milliards de dollars par an d'ici 2050 (Sussman et coll., 2014). Au Canada,

1 À moins d'indication contraire, toutes les valeurs présentées dans ce chapitre sont en dollars canadiens (CAD).

un investissement d'un peu plus de 5 milliards de dollars (dollars canadiens de 2019) sera nécessaire chaque année, en moyenne, au cours des 50 prochaines années pour adapter les infrastructures municipales (bâtiments, installations, routes, etc.) aux changements climatiques (Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités, 2020). La forme exponentielle des courbes du coût de l'adaptation suggère que les niveaux initiaux d'adaptation peuvent être atteints à un coût relativement faible, mais que les coûts pourraient être considérablement plus élevés à long terme, car des mesures de moins en moins rentables sont nécessaires pour atteindre des niveaux d'adaptation plus élevés (Agrawala et coll., 2011). Néanmoins, des décisions judicieuses en matière d'adaptation peuvent produire des avantages, sous la forme de dommages évités, qui dépassent de loin les coûts (Commission mondiale sur l'adaptation, 2019; Lempert et coll., 2018).

Compte tenu de l'ampleur potentielle des coûts d'investissement pour l'adaptation aux changements climatiques à court et à long terme, il est nécessaire de fournir aux décideurs des informations économiques fiables sur les coûts et les avantages connexes afin de faciliter les décisions d'investissement en matière d'adaptation. Qu'ils proviennent du secteur public ou privé, les décideurs sont confrontés à des ressources humaines et financières limitées. Ils ne seront pas en mesure de mener à bien tous les programmes ou politiques envisagés, et doivent donc justifier et établir des priorités pour l'allocation des ressources disponibles, y compris pour les stratégies et mesures d'adaptation aux changements climatiques. À cet égard, le domaine de l'économie peut être utile, car il comprend l'étude de la manière d'allouer efficacement les ressources pour atteindre les objectifs souhaités. Plus précisément, l'analyse économique peut aider les décideurs à évaluer les coûts de l'action par rapport aux coûts de l'inaction (c.-à-d. continuer à appliquer une approche de maintien du statu quo); à choisir le montant à investir par rapport à des priorités concurrentes qui ne sont pas liées aux changements climatiques; à décider quels types d'options, de secteurs et de lieux d'adaptation devraient recevoir des ressources; à équilibrer les objectifs à court terme et à long terme; et, par conséquent, à tenir compte des répercussions pour les générations futures (Chambwera et coll., 2014; National Research Council, 2010). De nombreux avantages liés à l'adaptation (c.-à-d. les dommages évités) auront également des répercussions dans d'autres domaines, notamment la santé et la sécurité, le patrimoine culturel, les écoservices et l'équité. Le fait de ne pas inclure ces types de considérations non commerciales dans le processus décisionnel entraîne un sous-investissement dans l'adaptation. L'analyse économique peut également être utile à cet égard en offrant des techniques spécialisées pour intégrer les impacts non commerciaux des changements climatiques dans la prise de décisions.

6.2 L'analyse économique contribue à éclairer la planification de l'adaptation

Face à des ressources limitées et à des priorités concurrentes, les décideurs peuvent utiliser l'analyse économique pour clarifier les compromis et plaider en faveur de l'allocation des ressources à des mesures d'adaptation particulières en obtenant des informations sur les coûts et les avantages des différentes options.

Les informations sur les coûts liés aux changements climatiques incitent à l'action. Le fait de fournir aux décideurs les informations relatives aux coûts et aux avantages de l'adaptation permet de déterminer l'ampleur globale de l'investissement dans l'adaptation et de sélectionner des mesures particulières. L'analyse économique a évolué, passant d'une analyse coûts-avantages (ACA), visant à déterminer l'option d'adaptation « optimale », à la mise à disposition d'outils permettant d'éclairer une action précoce, en mettant davantage l'accent sur la valeur de l'information et sur les coûts et les avantages du renforcement des capacités et de la suppression des obstacles à l'adaptation. L'accent est également mis de plus en plus sur l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques et sur la nécessité de mieux gérer les incertitudes.

6.2.1 Introduction

Comme les décideurs sont de plus en plus conscients des risques liés aux changements climatiques, il existe une demande croissante en faveur de moyens plus efficaces pour soutenir les décisions en matière d'adaptation (Moss et coll., 2014; National Research Council, 2010). Le cadre de la planification de l'adaptation a été modifié pour répondre à ces exigences. Avec la reconnaissance accrue de la nécessité de gérer l'incertitude et d'élaborer des mesures précoces concrètes, on observe une évolution vers une approche plus centrée sur les politiques. Une telle approche a pour objectif de départ l'adaptation aux changements climatiques, ainsi qu'un intérêt accru pour le calendrier et la séquence des options d'adaptation, et l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques pour la prise de décisions (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015). Ces changements ont des conséquences importantes sur l'utilisation de l'analyse économique pour éclairer les décisions en matière d'adaptation.

6.2.2 Points d'entrée de l'analyse économique des cadres de gestion des risques

Le support décisionnel dans le contexte des changements climatiques présente des défis sans précédent. Les incertitudes associées aux changements climatiques (concernant l'évolution des systèmes sociaux et économiques futurs, les délais entre les activités humaines et les réactions du système climatique, la dynamique des systèmes climatiques et biophysiques, la diversité des intervenants susceptibles d'être touchés et l'adaptation autonome des systèmes naturels et humains) rendent extrêmement difficile de prévoir quand et où les impacts des changements climatiques se feront sentir, ainsi que leur importance

relative (Chambwera et coll., 2014; Jones et coll., 2014; Heal et Millner, 2013). En ce qui concerne l'adaptation, ces incertitudes sont exacerbées aux niveaux régional et local, où de nombreuses options d'adaptation sont mises en œuvre. Les décisions en matière d'adaptation sont compliquées par des incertitudes supplémentaires liées aux différentes perspectives des intervenants, aux objectifs multiples et concurrents, aux longs délais de prise de décisions, au choix des valeurs monétaires et à la large gamme d'options d'adaptation parmi lesquelles choisir (p. ex. privé ou public, réactif ou planifié, autonome ou intégré [« généralisé »]) (Rouillard et coll., 2016a; Jones et coll., 2014; Li et coll., 2014; Randall et coll., 2012).

La prise en compte de l'incertitude est fondamentale pour les décisions en matière d'adaptation et les analyses économiques connexes. Étant donné la nature pluridimensionnelle et incertaine des décisions en matière d'adaptation, le consensus est que ces décisions sont optimalement prises en compte dans un cadre de gestion adaptative (c.-à-d. itérative) des risques (Lempert et coll., 2018; Jones et coll., 2014; Moss et coll., 2014; GIEC, 2012; National Research Council, 2010).

La gestion adaptative des risques fournit un cadre dans lequel les conséquences potentiellement importantes, mais incertaines, des changements climatiques actuels et futurs et des mesures d'adaptation sont continuellement cernées, évaluées, classées par ordre de priorité, gérées et révisées. Ce cadre comprend la surveillance, qui tient compte des nouvelles informations, de l'expérience et de la contribution des intervenants (Lempert et coll., 2018; National Research Council, 2010). Elle implique un cycle continu d'évaluation, d'action, de réévaluation et de réaction qui se poursuivra à perpétuité, plutôt que d'informer des décisions ponctuelles à un moment donné (Lempert et coll., 2018; Willows et Connell, 2003). Le National Research Council (2010) fait une analogie avec les décisions prises dans une partie d'échecs, où les pièces sont repositionnées et où le risque est réévalué en fonction des coups de l'adversaire.

Du point de vue de l'analyse économique, la gestion adaptative des risques fournit un cadre de travail utile pour la prise de décisions en matière d'adaptation. Elle permet d'utiliser un vaste ensemble de concepts, de processus et d'outils d'aide à la prise de décisions, y compris des outils traditionnels comme l'analyse coûts avantages (ACA), l'analyse coût-efficacité (ACE) et l'analyse décisionnelle multicritères (voir le tableau 6.4), ainsi que des outils plus aptes à prendre en compte les incertitudes profondes, comme l'analyse approfondie et les voies d'adaptation dynamiques (voir la figure 6.3; le tableau 6.4; Moss et coll., 2014). Il est important de noter que la gestion adaptative des risques permet aux décideurs de tenir compte d'une large gamme de critères (p. ex. les coûts, les avantages directs et connexes et les impacts connexes (voir la section 6.3.4), l'équité, le caractère abordable, la flexibilité, la robustesse) lors de la formulation de stratégies d'adaptation face à l'incertitude (voir la section 6.6.1).

Les étapes de sensibilisation, d'évaluation et de planification d'un cadre généralisé de gestion adaptative des risques fournissent des points d'entrée précis pour les données économiques, l'analyse et l'aide à la prise de décisions (voir la figure 6.1). Au cours de la phase de sensibilisation, les informations sur les coûts de l'inaction (c.-à-d. le coût net reflétant la différence entre les dommages économiques et toutes les possibilités avantageuses découlant des changements climatiques) peuvent être utilisées pour persuader les décideurs de la nécessité et de l'urgence d'allouer des ressources à la planification de l'adaptation. Ces informations peuvent comprendre des estimations de l'ampleur des coûts liés aux changements climatiques, de la répartition de ces coûts entre les différents lieux, secteurs, groupes de populations, etc., et de la période pendant laquelle ils devraient devenir importants, s'ils ne le sont pas déjà. Ces mêmes informations peuvent également être utilisées par les analystes et les intervenants pour établir un ordre de priorité des risques et

des vulnérabilités aux changements climatiques actuels et futurs au cours de la phase d'évaluation. L'analyse économique joue également un rôle important au cours de la phase de planification, où elle peut être utilisée pour déterminer l'ampleur globale de l'investissement dans l'adaptation, la sélection, l'échéancier et l'échelonnement des mesures d'adaptation particulières, ainsi que la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation.

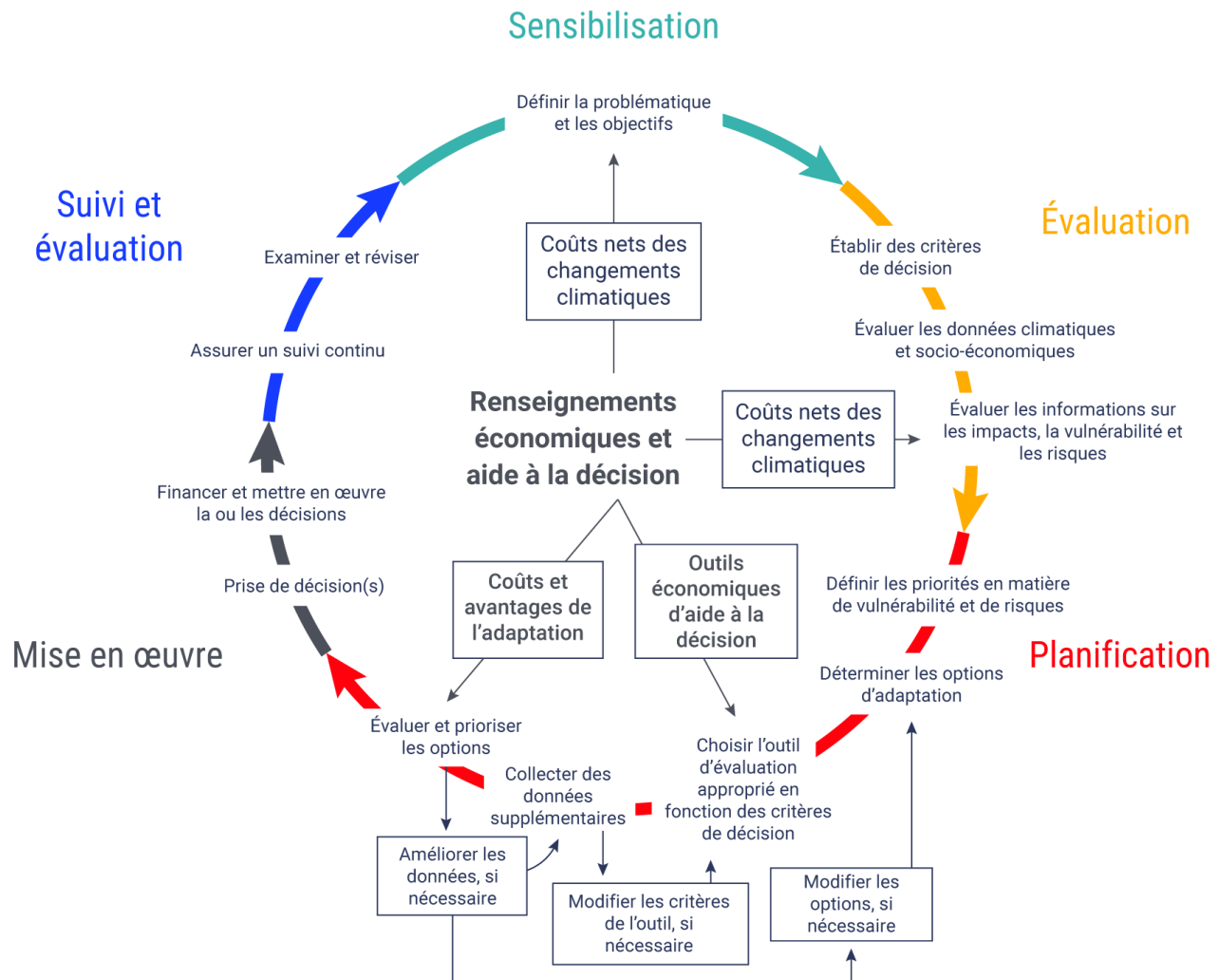


Figure 6.1 : Le cadre générique de gestion adaptative des risques pour l'adaptation aux changements climatiques comprend cinq étapes : 1) la sensibilisation, 2) l'évaluation, 3) la planification, 4) la mise en œuvre et 5) le suivi et l'évaluation. Pour faciliter la présentation, toutes les boucles de rétroaction ne sont pas représentées dans la figure (p. ex. entre la planification et la sensibilisation, et entre la planification et l'évaluation). Source : Adapté de Lempert et coll., 2018; Rouillard et coll., 2016a et Meyer et coll., 2015.

6.2.3 Évolution vers une planification de l'adaptation centrée sur les politiques

Les étapes d'évaluation et de planification d'un cadre de gestion adaptative des risques sont généralement réalisées en suivant l'un ou l'autre de ces deux processus analytiques génériques (Jones et coll., 2014). Historiquement, l'approche prédominante est basée sur un processus d'évaluation d'impact qui préconise des connaissances scientifiques (également appelé « approche descendante », « analyse à partir de scénarios » et « prévoir-puis-agir ») (Gregory et coll., 2012; Wilby, 2012; Ranger et coll., 2010). Il s'agit d'abord de définir le profil d'évolution des impacts (les projections des changements climatiques combinées aux informations socio-économiques pour évaluer les risques et les coûts futurs) en utilisant des modèles d'impact ou des fonctions de dommage (c.-à-d. une relation empirique définissant la variation prévue des dommages financiers attribuable à la modification d'une variable ou d'un indice climatique). L'étendue des risques estimés est ensuite utilisée pour encadrer la sélection des mesures d'adaptation. Les mesures retenues sont évaluées lors de la dernière étape du processus afin de déterminer le niveau d'adaptation souhaité, qui est établi en fonction des coûts d'adaptation, des avantages et des coûts résiduels (c.-à-d. les dommages financiers attribuables aux changements climatiques qui subsisteront après l'adaptation) (Watkiss, 2015). Avec cette approche, cependant, l'incertitude est aggravée à chaque étape du processus analytique (voir la figure 6.2) et est rarement caractérisée de manière adéquate (Wilby, 2012). En présence de ces incertitudes croissantes, la gamme des impacts et des réponses d'adaptation plausibles peut devenir irréalisable, rendant l'approche scientifique impraticable (Dessai et coll., 2009; Dessai et coll., 2005). Les autres enjeux liés au processus d'une approche qui préconise des connaissances scientifiques comprennent les suivants : il ne prend pas suffisamment en compte les moteurs non climatiques des impacts et des risques; son orientation à long terme ne correspond pas aux besoins stratégiques immédiats pour éclairer les décisions en matière d'adaptation à court terme; il ne prend pas en compte le processus d'adaptation lui-même et fait abstraction des obstacles potentiels, des coûts de transaction et des politiques de base; et il a tendance à mettre l'accent sur les mesures d'adaptation « dures » (c.-à-d. techniques) au détriment des mesures « douces », comme le renforcement de la capacité d'adaptation (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015; Patt et coll., 2010).

Compte tenu des lacunes de l'approche scientifique, on observe une évolution des pratiques d'adaptation vers des processus analytiques qui préconise des connaissances politiques (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015; Watkiss et coll., 2015a; Downing, 2012). Les approches qui préconisent des connaissances politiques, également connues sous le nom d'approches « ascendantes », « d'évaluation des risques des politiques » et « centrées sur la décision » (Pielke et coll., 2012; Brown et coll., 2011; Ranger et coll., 2010; Dessai et Hulme, 2007), mettent davantage l'accent sur l'adaptation comme objectif de départ, plutôt que de la considérer comme une étape finale, ce qui est généralement le cas dans une évaluation d'impact scientifique traditionnelle. Avec l'approche qui préconise des connaissances politiques, une quantité importante d'efforts est consacrée dès le départ à la définition du problème décisionnel (p. ex. un plan de gestion des risques d'inondation). Il s'agit d'abord de déterminer les objectifs pertinents, les pratiques actuelles, les contraintes et les moteurs de changement, ainsi que les préférences des intervenants et les critères de décision correspondants, tous des éléments qui encadreront également les analyses ultérieures. Ensuite, le processus consiste à évaluer la vulnérabilité du système défini aux conditions climatiques, socio-économiques et politiques actuelles, avant d'examiner les sensibilités aux facteurs de stress futurs, y compris les facteurs de stress liés ou non au climat (Ranger et coll., 2010). Une fois que les limites des pratiques actuelles sont

comprises, des mesures de rechange sont élaborées s'il le faut et évaluées en fonction de la réalisation des objectifs fixés dans une série de scénarios futurs plausibles. Par exemple, le projet Thames Estuary 2100 à Londres, au Royaume-Uni (voir l'étude de cas 6.4), a été l'un des premiers projets d'infrastructure à grande échelle à adopter une approche qui préconise des connaissances politiques pour la planification de l'adaptation (Ranger et coll., 2013).

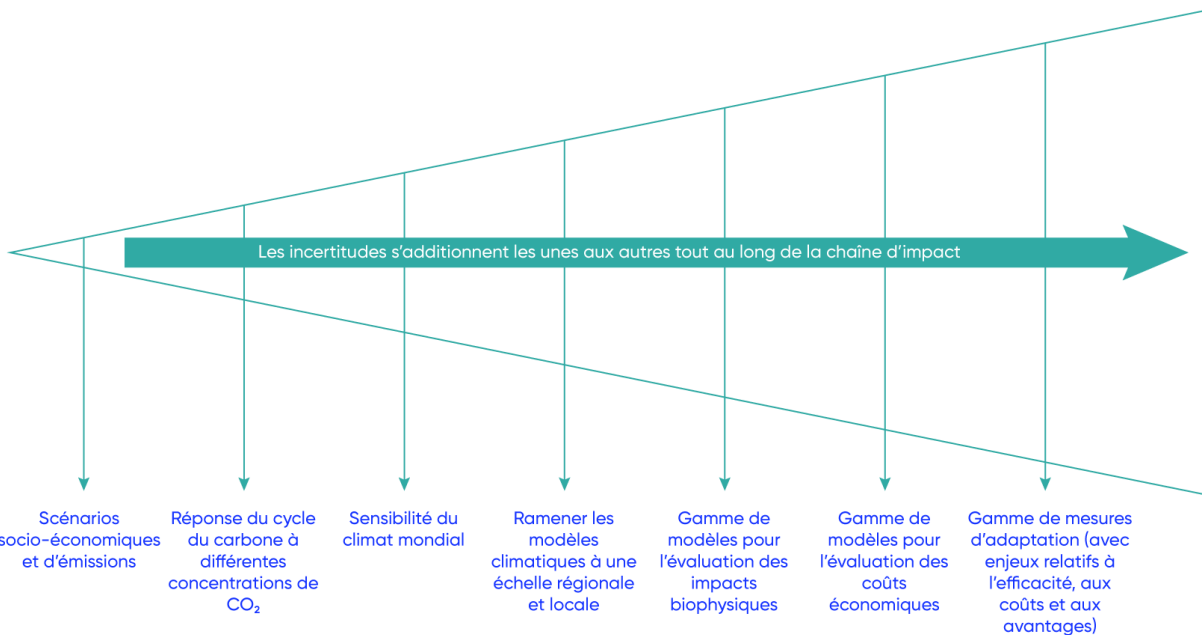


Figure 6.2 : Illustration des incertitudes croissantes le long d'une chaîne causale d'impacts qui préconise des connaissances scientifiques. Le niveau d'incertitude augmente au fur et à mesure que l'on se déplace le long de la chaîne d'impact (de gauche à droite), ce qui mène à un niveau élevé d'incertitude dans les estimations des coûts et des avantages à la fin de la chaîne. Source : Adapté de Fussler, 2003.

Par rapport à l'approche classique dite « scientifique », l'approche qui préconise des connaissances politiques présente un certain nombre d'avantages (Gregory et coll., 2012; Pielke et coll., 2012; Brown et coll., 2011; Ranger et coll., 2010; Wilby et Dessai, 2010; Dessai et coll., 2009). Par exemple, étant donné que l'approche centrée sur les politiques ne requiert que des informations climatiques pertinentes au problème décisionnel en question et concentre l'évaluation sur les options d'adaptation qui sont acceptables, compte tenu des objectifs et des contraintes d'une décision donnée, l'analyse est simplifiée et ciblée dès le départ, ce qui la rend moins gourmande en ressources et en données, ainsi que moins sensible aux incertitudes croissantes. En outre, comme l'analyse est axée sur le contexte et n'est pas indûment influencée par la modélisation scientifique, elle met l'accent sur la perspective globale et encourage les décideurs à tenir compte des interactions avec des priorités politiques plus larges et à rechercher des mesures d'adaptation qui présentent des avantages connexes avec d'autres domaines stratégiques.

6.2.4 Accent sur l'adaptation précoce et sur l'échéancier et l'échelonnement des mesures

Parallèlement à la transition vers une approche centrée sur les politiques et à l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques, une attention accrue est également accordée à l'échéancier et à l'échelonnement des mesures d'adaptation comme moyen supplémentaire de gérer les incertitudes (Wise et coll., 2014). L'adaptation n'est plus abordée comme comprenant une seule option (p. ex. un mur pour réduire les risques d'inondation dans le futur). Au contraire, il y a eu une transition vers une vision de l'adaptation comme un ensemble cohérent de mesures visant à remédier aux vulnérabilités actuelles et à se préparer aux risques liés aux changements climatiques à moyen et à long terme, en mettant l'accent sur une mise en œuvre pratique précoce (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015). Les ensembles de mesures comprendront généralement trois types d'activités ou d'éléments constitutifs pour une action précoce (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015; Watkiss et coll., 2014) :

- 1. Mesures visant à combler le déficit d'adaptation actuel :** Des mesures d'adaptation immédiates qui permettent de faire face aux risques actuels liés aux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et, ce faisant, de renforcer la résilience aux changements climatiques futurs. Il s'agirait notamment de mesures d'adaptation « gagnant-gagnant », « sans regret » et « à faible regret » qui présentent des avantages directs ou connexes immédiats évidents.
- 2. Mesures visant à adapter les décisions à longue durée de vie :** Les mesures d'adaptation qui sont intégrées dans des décisions à court terme ayant une longue durée de vie (p. ex. les décisions relatives aux infrastructures vulnérables aux changements climatiques ou à l'aménagement du territoire) et qui seront donc influencées par les conditions climatiques futures et les risques futurs, en plus des conditions actuelles. Contrairement à la catégorie précédente, l'incertitude quant aux avantages futurs est une préoccupation beaucoup plus importante. Par conséquent, l'accent est mis sur l'utilisation de mesures robustes (c.-à-d. des mesures qui offrent des avantages futurs en fonction d'une série de scénarios futurs plausibles) et de stratégies adaptables qui offrent des possibilités d'apprentissage, avec des mesures qui peuvent être retardées ou avancées, et augmentées ou réduites à mesure que de nouvelles informations apparaissent au fil du temps.
- 3. Mesures visant à soutenir l'adaptation à long terme :** Il s'agit d'activités telles que le suivi, la surveillance, la recherche et la mobilisation, qui amorcent instantanément le renforcement des capacités nécessaires pour soutenir les mesures futures de gestion des impacts et des risques liés aux changements climatiques à long terme. Il s'agit par exemple de fournir des renseignements de meilleure qualité (qui sont nécessaires pour éclairer les décisions ultérieures concernant la gestion des risques importants et très incertains à long terme) et des mesures qui sont indispensables pour créer un environnement politique et socioculturel propice pour permettre et garantir que des mesures futures sont toujours possibles.

Lorsqu'ils sont considérés collectivement comme une stratégie d'adaptation intégrée, ces trois éléments constitutifs forment un profil d'évolution dynamique de l'adaptation (Haasnoot et coll., 2018; 2013), comme le montre la figure 6.3.

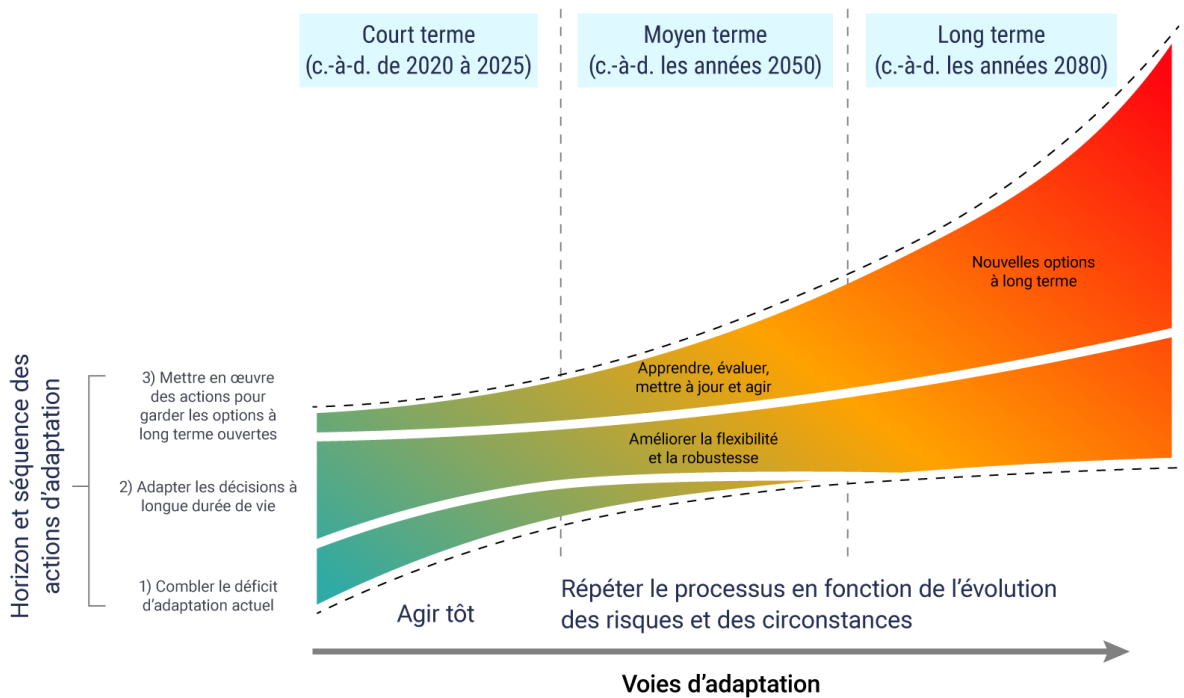


Figure 6.3 : Illustration de l'horizon et séquence des mesures d'adaptation à court, à moyen et à long terme tout au long d'une voie d'adaptation. Source : Adapté de Watkiss et coll., 2014.

6.2.5 Implications de l'évolution des pratiques pour l'analyse économique

L'évolution vers un processus d'évaluation centré sur les politiques, combinée à une attention accrue portée à l'échéancier et à l'échelonnement des mesures d'adaptation et à l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques, a eu des répercussions importantes sur l'analyse économique des stratégies d'adaptation. Ces changements de pratiques ont principalement nécessité la mise au point, l'application et le perfectionnement d'outils alternatifs d'aide à la prise de décisions. Les outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie (p. ex. l'ACA, l'ACE) sont adéquats pour évaluer les mesures précoces visant à combler le déficit d'adaptation existant lorsque l'incertitude quant aux impacts futurs est moins préoccupante. Toutefois, pour intégrer l'adaptation dans les décisions à longue durée de vie, où la prise en compte des incertitudes liées ou non au climat concernant les futurs moteurs de changement est beaucoup plus importante, et où les décideurs recherchent donc des options solides ou des stratégies flexibles, des outils alternatifs d'aide à la prise de décisions en matière d'économie tels que l'analyse des options réelles, la prise de décisions solides, l'analyse de portefeuille et les profils d'évolution dynamiques de l'adaptation sont plus appropriés pour évaluer les mesures (voir le tableau 6.5). L'utilisation de ces outils à l'échelle mondiale dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques demeure embryonnaire et ils n'ont pas encore été formellement appliqués au Canada (voir la section 6.7.1).

D'autres conséquences de ces nouvelles pratiques pour l'analyse économique de l'adaptation comprennent :

- Étant donné l'importance accrue accordée 1) à l'intégration et à la compréhension du processus d'adaptation (y compris les obstacles à l'action), et 2) au renforcement des capacités pour garantir que les mesures d'adaptation à long terme restent possibles (p. ex. la recherche, la surveillance et le renforcement institutionnel), il est de plus en plus nécessaire d'évaluer les coûts et les avantages des mesures non techniques, y compris les interventions comportementales pour surmonter les obstacles au changement, et la valeur des informations recueillies par les systèmes de surveillance. Les caractéristiques de ces options sont différentes de celles de mesures basées sur les résultats ou de mesures techniques, avec des coûts et des avantages qui sont plus difficiles à mesurer et à inclure dans l'analyse économique.
- De même, l'importance accrue accordée aux mesures d'adaptation sans regret et à faible regret met davantage l'accent sur la nécessité de saisir pleinement les avantages connexes dans l'analyse économique, ce qui exige la monétisation de toute une gamme d'impacts non climatiques, en plus des dommages évités liés aux changements climatiques.
- Considérer les stratégies d'adaptation comme un ensemble d'activités échelonnées dans le temps présente des défis pour l'analyse économique, car chaque élément constitutif est unique et peut nécessiter des informations et des méthodes différentes pour la quantification et l'évaluation des impacts physiques, et peut engendrer des implications en matière de ressources pour l'analyse.
- Toutes les analyses économiques doivent généralement tenir compte des compromis entre les coûts initiaux et les avantages futurs, ce qui rend les résultats sensibles au processus d'actualisation et au choix du taux d'actualisation (voir la section 6.6.3.2). L'analyse des mesures visant à combler le déficit d'adaptation actuel sera généralement moins sensible aux hypothèses d'actualisation. Cependant, pour les mesures précoces visant à adapter les décisions à longue durée de vie et à maintenir ouvertes les options à long terme sur plusieurs décennies, les résultats seront plus sensibles à l'actualisation des avantages futurs, ce qui rend essentiel d'envisager des pratiques d'actualisation alternatives et intergénérationnelles.

6.3 L'étendue des coûts économiques et sociaux induits par les changements climatiques

Les changements climatiques induisent un vaste ensemble de coûts directs et indirects, avec de nombreuses implications économiques et sociales. Les mesures d'adaptation aux changements climatiques peuvent apporter des avantages connexes considérables dans d'autres domaines, mais peuvent également entraîner des coûts imprévus.

Il existe une vaste gamme de termes utilisés pour décrire les conséquences économiques des impacts des changements climatiques, notamment les coûts directs (p. ex. les dommages causés par une inondation) et indirects (p. ex. la perturbation de la prestation de services), les impacts macroéconomiques (p. ex. la réduction de la croissance du produit intérieur brut [PIB]) et les pertes en matière de bien-être pour les populations touchées. Les mesures d'adaptation peuvent générer toute une série d'avantages connexes dans d'autres domaines, mais peuvent également entraîner des coûts imprévus. La diversité des termes utilisés dans la littérature, dont beaucoup se recoupent et sont parfois utilisés de manière interchangeable, peut entraîner une certaine confusion chez les praticiens et les décideurs, et peut également entraver les efforts visant à comparer les coûts et avantages estimés de différentes mesures d'adaptation.

Cette section décrit les termes clés relatifs aux coûts et aux avantages comme ils sont utilisés dans le reste de ce chapitre, sur la base des définitions communes issues de la littérature..

6.3.1 Coûts directs et indirects

Les typologies des conséquences économiques des impacts des changements climatiques, et plus particulièrement des impacts résultants de phénomènes extrêmes, font souvent la distinction entre impacts directs et indirects, à l'instar de la littérature sur les impacts des catastrophes naturelles. Les impacts directs et indirects peuvent être négatifs ou positifs, entraînant respectivement des coûts (c.-à-d. des pertes ou des dommages) ou des avantages (c.-à-d. des gains). Cette section se rapporte uniquement aux coûts, bien qu'elle s'applique également aux avantages.

Les coûts directs résultent des impacts physiques des dangers liés aux changements climatiques, tels que les dommages ou les perturbations causés aux biens et services tangibles qui peuvent être échangés sur un marché et ont donc un prix observé (p. ex. les coûts engagés pour réparer ou remplacer les maisons endommagées, les coûts des traitements médicaux dus au stress thermique, les pertes de revenus dues à la réduction des rendements de récolte). Les coûts directs résultent également des impacts physiques sur des éléments intangibles qui ne sont pas achetés ou vendus sur un marché traditionnel et qui n'ont donc pas de prix aisément observable (p. ex. les services écosystémiques, les niveaux de stress ou de douleur et la qualité de vie générale). Les économistes ont mis au point de multiples techniques pour attribuer un « prix fictif », soit le prix estimé d'un bien ou d'un service dont la valeur marchande ne reflète pas fidèlement sa valeur réelle ou pour lequel il n'existe pas de prix du marché, à ces éléments intangibles, que l'on appelle les impacts non liés au marché. Lorsque les impacts non liés au marché sont rendus équivalents aux impacts

liés au marché à l'aide de prix fictifs, ils peuvent être considérables, voire supérieurs aux coûts liés au marché (Nordhaus et Boyer, 2000). Le fait d'omettre les impacts non liés au marché pertinents de l'analyse économique des stratégies d'adaptation pourrait fausser considérablement les résultats.

Les coûts indirects découlent des impacts directs des changements climatiques. Lorsqu'une infrastructure, un bâtiment ou un parc est endommagé ou détruit, cela peut interrompre l'utilisation normale ou le flux de services (p. ex. un magasin inondé peut devoir fermer temporairement pour des réparations). Des infrastructures endommagées peuvent entraîner une perturbation de la prestation de services essentiels (p. ex. électricité, eau, assainissement), ce qui peut interrompre les activités d'entreprises qui ne sont pas directement touchées par les dangers liés aux changements climatiques. Les travailleurs peuvent également ne pas être en mesure de se rendre au travail si les réseaux routiers ou les infrastructures de transport en commun ont été touchés. Ces impacts sont appelés coûts d'interruption de l'exploitation (Kousky, 2012). Des interactions entre les entreprises peuvent à leur tour entraîner des impacts secondaires ou multiplicateurs dans l'économie (p. ex. un magasin inondé qui a fermé ses portes pour effectuer des réparations n'aura pas besoin d'acheter des fournitures avant sa réouverture). Comme les coûts directs, les pertes indirectes peuvent également être divisées en coûts liés au marché (p. ex. les coûts d'interruption de l'exploitation) et en coûts non liés au marché (p. ex. les maladies différées et les troubles de santé mentale, l'augmentation des inégalités). Contrairement aux coûts directs, les coûts indirects s'étendent souvent sur une période plus longue et ont lieu sur une échelle spatiale plus étendue que le site des impacts physiques directs des changements climatiques (Hallegatte, 2013).

La somme de tous les coûts pertinents, directs et indirects, liés au marché et non liés au marché, fournit une mesure de l'impact économique total des changements climatiques. L'intérêt se concentre souvent sur le résultat net global, c'est-à-dire la somme des impacts potentiellement positifs et négatifs, et sur la question de savoir si les changements climatiques engendrent des coûts nets ou des avantages nets.

6.3.2 Coûts macroéconomiques

Si la somme des coûts liés au marché, directs et indirects, est suffisamment importante, elle peut avoir un impact sur les indicateurs macroéconomiques, tels que l'inflation des prix à la consommation et à la production, le taux de chômage et le PIB. Le PIB mesure la valeur de la production dans une économie, dont une partie reflète l'investissement et une autre la consommation. Les impacts des changements climatiques sur le PIB peuvent être estimés directement à l'aide de modèles informatiques d'équilibre général (IEG), des modèles numériques à grande échelle qui simulent les principales interactions économiques (p. ex. celles entre les différents marchés des produits) au sein d'une économie, ou à l'aide de tableaux des ressources et des emplois disponibles auprès de Statistique Canada qui saisissent tous les coûts liés au marché pertinents, directs et indirects. Les changements prévus dans les indicateurs macroéconomiques, tels que le PIB, ne devraient être utilisés que comme une perspective supplémentaire qui permet de voir les conséquences économiques des changements climatiques. Les indicateurs macroéconomiques rendent compte des impacts directs et indirects agrégés des changements climatiques sur l'économie. Les impacts macroéconomiques, s'ils sont estimés directement, ne devraient pas être ajoutés aux autres estimations des coûts liés au marché directs et indirects, car cela entraînerait une comptabilisation en double (Ratti,

2017; Kousky, 2012). En même temps, se concentrer uniquement sur des indicateurs macroéconomiques agrégés comme le PIB peut être trompeur dans une perspective de répartition. L'échelle spatiale d'un phénomène météorologique extrême peut être différente de l'échelle sur laquelle le PIB est mesuré. Des pertes importantes pour les populations locales peuvent n'avoir aucun impact visible sur le PIB national, ou même sur le PIB provincial ou territorial. Cependant, cela ne signifie pas que les impacts sont négligeables pour les personnes touchées. Cela s'applique particulièrement aux populations ou aux endroits défavorisés, dont la production économique est généralement invisible dans les indicateurs macroéconomiques agrégés. Un autre enjeu de répartition concernant l'échelle spatiale des impacts des changements climatiques et l'utilisation d'indicateurs macroéconomiques agrégés est que les pertes subies à un endroit peuvent être compensées par des gains à un autre endroit.

6.3.3 Pertes de bien-être

La mesure théoriquement correcte des conséquences économiques des changements climatiques est la modification correspondante du bien-être des populations touchées (Kousky, 2012; Stern, 2006; Nordhaus et Boyer, 2000). L'estimation des changements dans une mesure théorique comme le bien-être est néanmoins difficile à réaliser dans la pratique. Par conséquent, le PIB est souvent utilisé comme indicateur pratique, bien que loin d'être parfait, du bien-être (Diaz et Moore, 2017a, b; Jones et Klenow, 2016). Outre les problèmes susmentionnés liés à l'utilisation du PIB pour mesurer les coûts des changements climatiques, le PIB ne saisit que la valeur des impacts sur les biens et services liés au marché. Comme indiqué ci-dessus, les impacts non liés au marché peuvent être considérables, voire plus importants que les coûts liés au marché. Ne pas tenir compte des impacts non liés au marché conduira à une sous-estimation considérable des pertes en matière de bien-être. La production de l'économie, mesurée par le PIB, n'a pas non plus d'incidence directe sur le bien-être des individus : ce qui compte le plus aux yeux des gens, c'est la consommation et la perte de surplus du consommateur (Hallegatte, 2013). À la suite de phénomènes extrêmes, le PIB peut augmenter en raison de l'accroissement des investissements destinés à réparer les biens endommagés. Bien que cela puisse suggérer une augmentation du bien-être sur la base de la définition ci-dessus, le bien-être diminuera en réalité puisque les ménages renoncent ainsi à une consommation dont ils auraient pu autrement profiter en faveur de ces investissements. Par conséquent, un indicateur plus approprié des coûts de bien-être résultant des changements climatiques correspond à une mesure de la perte de consommation, plutôt qu'à une perte de production mesurée par le PIB. En dépit de ces préoccupations, les coûts de bien-être liés aux changements climatiques sur le plan financier sont parfois exprimés en pourcentage du PIB prévu, ce qui est qualifié d'impact équivalent au PIB (Vivid Economic, 2013).

6.3.4 Avantages et autres impacts connexes

Lors de la prise de décisions en matière d'adaptation, il est essentiel de tenir compte d'une autre catégorie d'impacts qui sont importants d'un point de vue économique et qui sont appelés « impacts connexes » : ils sont plus communément appelés « avantages connexes » lorsque les impacts sont positifs. Outre les coûts applicables du cycle de vie et les dommages évités liés aux changements climatiques, les options

d'adaptation peuvent donner lieu à divers impacts accessoires potentiellement importants, appelés impacts connexes (Chambwera et coll., 2014). La reconnaissance des impacts connexes dans les décisions en matière d'adaptation est importante, puisqu'il semblerait que les personnes soient plus susceptibles d'agir face aux changements climatiques si les impacts connexes associés à des mesures particulières sont mis en évidence (Bain et coll., 2015).

De nombreux termes différents sont utilisés en référence aux impacts connexes, selon qu'ils sont positifs ou négatifs et intentionnels ou non intentionnels (Floater et coll., 2016; Urge-Vorsatz et coll., 2014). L'intentionnalité fait référence au degré auquel les avantages connexes sont explicitement recherchés par le décideur, puisque les options d'adaptation sans regret et à faible regret sont priorisées en vue de gérer l'incertitude (voir la section 6.2.3). En plus d'éviter les dommages liés aux changements climatiques, les options d'adaptation peuvent contribuer à la réduction des émissions de GES et à d'autres objectifs stratégiques non climatiques liés à des enjeux tels que le développement économique, la santé publique, la durabilité et l'équité. Éviter les dommages liés aux changements climatiques peut être l'objectif secondaire de la réduction des émissions de GES ou des politiques non climatiques, ou peut servir comme l'un des nombreux objectifs à poursuivre simultanément dans le cadre d'un ensemble cohérent et intégré de politiques (Floater et coll., 2016). Par exemple, l'utilisation de toits verts dans les villes comme stratégie de réduction de la température urbaine permet également de gérer les eaux pluviales, de séquestrer le carbone et d'améliorer la biodiversité urbaine. Dans ce cas, l'utilisation de l'infrastructure verte pour lutter contre les effets néfastes des vagues de chaleur sur la santé contribue également aux avantages connexes de la réduction des émissions de GES, de la gestion des inondations et de la prestation des services écologiques (voir l'étude de cas 6.1).

Une gamme de termes sont utilisés pour décrire les impacts connexes négatifs, tenus pour non intentionnels, dont les coûts connexes, les coûts accessoires, les effets secondaires néfastes et les externalités (Urge-Vorsatz et coll., 2014). Parmi les exemples d'impacts connexes négatifs générés par les options d'adaptation, on peut citer l'augmentation des émissions de GES, l'accroissement des risques pour d'autres groupes ou secteurs qui ne sont pas visés par l'option en question, ou la limitation des choix futurs en matière d'adaptation.

6.3.5 Coûts privés et sociaux

La dernière série de termes économiques couramment rencontrés dans la littérature concerne la perspective adoptée par le décideur pour évaluer les options d'adaptation. Les coûts et les avantages des options d'adaptation peuvent être évalués d'un point de vue social, mais aussi privé (Halsnæs et coll., 2007). D'un point de vue social, où un décideur en matière de politiques publiques cherche une allocation socialement optimale des ressources pour l'adaptation aux changements climatiques, l'évaluation des options d'adaptation devrait prendre en compte les avantages connexes ainsi que les conséquences négatives potentielles parallèlement aux coûts estimés du cycle de vie et aux dommages évités (Floater et coll., 2016; Chambwera et coll., 2014). En revanche, les ménages et les entreprises s'intéressent à un ensemble plus restreint de coûts et d'avantages privés lorsqu'ils prennent des décisions en matière d'adaptation. Plus précisément, ils s'intéressent aux coûts et aux avantages qui reviennent à la personne qui prend la décision.

Ces coûts et avantages privés (parfois appelés impacts financiers) sont généralement basés sur les prix réels du marché. Pour comprendre l'importance de la différence entre les deux perspectives, prenons l'exemple d'une maison endommagée par une inondation, dont certains coûts directs sont remboursés par le programme des Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC) du gouvernement du Canada. Le coût privé du sinistre pour le propriétaire est la différence entre les coûts de réparation encourus (non couverts par l'assurance privée) et le montant de l'aide reçue du gouvernement. Cependant, dans une perspective sociétale, l'aide représente un paiement de transfert d'un contribuable (une perte) à un autre (un gain équivalent); la perte et le gain s'annulent mutuellement, ce qui laisse le coût complet des réparations comme mesure du coût social de l'inondation.

Étude de cas 6.1 : Les mesures climatiques prises par les villes du monde entier entraînent des avantages connexes

En 2015, le programme Economics of Green Cities de la London School of Economics, au Royaume-Uni, a publié un document de travail intitulé « Co-benefits of urban climate action: A framework for cities » qui comprend une analyse documentaire de l'état des connaissances concernant les avantages connexes urbains des mesures de lutte contre les changements climatiques, basée sur un examen des mesures prises par les villes du monde entier (Floater et coll., 2016).

Au total, 116 avantages connexes découlant de 34 mesures stratégiques axées sur l'adaptation aux changements climatiques ont été identifiés dans 13 secteurs urbains clés. Le plus grand nombre d'avantages connexes économiques des politiques liées à l'adaptation a été enregistré dans les secteurs de la santé, de l'utilisation des terres et des bâtiments, et le plus grand nombre d'avantages connexes sociaux générés par les politiques liées à l'adaptation a été enregistré dans les secteurs de l'utilisation des terres, de la santé et de l'éducation. Le plus grand nombre d'avantages connexes environnementaux de ces politiques a été observé dans les secteurs de l'utilisation des terres, de l'eau et de la sécurité alimentaire. En général, les politiques d'adaptation aux changements climatiques dans les secteurs de l'utilisation des terres et de la santé sont celles qui génèrent le plus grand nombre d'avantages connexes.

Il a également été constaté que les politiques mises en œuvre dans d'autres secteurs urbains généraient des avantages connexes pour l'adaptation aux changements climatiques, la réduction des émissions de GES ou les deux. Un nombre relativement élevé d'avantages connexes de l'adaptation a été associé aux politiques dans les secteurs suivants : la gestion des catastrophes et des urgences, la sécurité alimentaire ainsi que le tourisme, la culture et le sport. Les avantages connexes de l'adaptation aux changements climatiques et de la réduction des émissions de GES ont été relativement marqués pour les politiques dans les secteurs de l'utilisation des terres, de la santé, de l'eau et de l'éducation.

6.4 Les coûts liés aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en hausse

Les coûts associés aux dommages causés par les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada sont importants et en hausse, principalement en raison d'une exposition aux risques croissante et de l'augmentation de la valeur des actifs. L'ampleur des coûts suggère que les ménages, les collectivités, les entreprises et les infrastructures ne sont pas suffisamment adaptés aux conditions climatiques actuelles et à la variabilité du climat.

Le nombre de phénomènes extrêmes a augmenté depuis 1983, bien que la répartition de ces phénomènes dans l'ensemble du Canada varie considérablement, l'Alberta étant la plus touchée. Des études sur l'attribution de tels phénomènes au Canada indiquent que les changements climatiques augmentent la probabilité de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes et peuvent jouer un rôle dans la tendance à l'augmentation des pertes dues à ces phénomènes. Cependant, la majorité des pertes croissantes liées aux phénomènes météorologiques extrêmes sont le résultat d'une exposition croissante et d'une augmentation de la valeur des actifs. L'ampleur des coûts suggère qu'il existe un déficit d'adaptation, c'est-à-dire que les ménages, les collectivités, les entreprises et les infrastructures ne sont pas suffisamment adaptés aux conditions climatiques actuelles et à la variabilité du climat.

6.4.1 Introduction

Avant d'examiner les données probantes relatives aux conséquences économiques prévues des changements climatiques pour le Canada, nous présentons, à titre de mise en contexte, des informations sur les coûts de phénomènes climatiques et météorologiques graves survenus dans le passé. Les phénomènes extrêmes, tels que les vagues de chaleur, la sécheresse, les inondations ou les tempêtes violentes, peuvent causer des dommages et des impacts considérables sur les personnes, les bâtiments, les infrastructures et l'environnement naturel. Les phénomènes météorologiques violents causent des dizaines de milliards de dollars de dommages chaque année dans le monde (Aon, 2020; Swiss Re Institute, 2020). On prévoit une intensification future de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes en raison des changements climatiques (Bush et Lemmen, 2019) qui contribueront à accroître la prévalence des dommages au cours des prochaines décennies. Par conséquent, une appréciation des vulnérabilités actuelles et des lacunes en matière de préparation au Canada constitue un bon point de départ pour établir un plaidoyer solide en faveur des mesures précoces d'adaptation aux changements climatiques (voir la section 6.2.3).

Cette section se concentre sur une seule source de données probantes : les dommages associés aux phénomènes météorologiques extrêmes au Canada qui sont documentés par l'industrie des assurances. Bien que les phénomènes extrêmes puissent être le visage des changements climatiques, les tendances graduelles du climat au Canada (p. ex. l'augmentation de la moyenne des températures annuelles et saisonnières, l'élévation du niveau de la mer, la fonte des glaciers et du pergélisol) peuvent également entraîner des impacts avec des conséquences économiques importantes, notamment les problèmes récents liés aux infestations de dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique (Withey et coll.,

2015) et la propagation des vecteurs de la maladie de Lyme (Ebi et coll., 2017). Par rapport aux impacts des phénomènes météorologiques extrêmes, les données probantes sur les conséquences économiques de ces impacts à évolution lente sont limitées. L'information présentée dans cette section ne donne qu'une image partielle des coûts économiques des dangers passés liés aux changements climatiques au Canada, tout en reconnaissant que les risques actuels liés aux extrêmes météorologiques sont importants et en hausse, et qu'ils justifient des mesures précoces.

6.4.2 Tendances mondiales en matière de dommages

L'industrie des assurances est une source essentielle d'informations sur les conséquences économiques des phénomènes météorologiques extrêmes. Les grands réassureurs, tels que Munich RE et Swiss Re, surveillent et enregistrent les informations sur les pertes dues aux catastrophes naturelles à travers le monde afin d'évaluer la capacité des marchés de réassurance nationaux et internationaux à absorber les pertes (voir l'encadré 6.1 pour une description de la terminologie clé de l'industrie des assurances).

Encadré 6.1 : Terminologie couramment utilisée dans l'industrie des assurances

Les pertes économiques représentent les coûts financiers directement attribuables à une catastrophe naturelle, tels que les dommages causés aux structures et au contenu des bâtiments, aux infrastructures et aux véhicules ainsi que les pertes d'exploitation résultant directement des dommages causés aux bâtiments. Les pertes économiques comprennent les pertes assurées (c.-à-d. les pertes économiques = pertes assurées + pertes non assurées). Elles n'incluent toutefois pas les pertes indirectes (p. ex. par effet d'entraînement, secondaire ou multiplicateur) qui résultent de la perturbation en amont ou en aval du flux de biens et de services à la suite de dommages causés aux bâtiments, aux infrastructures, aux véhicules, etc. Elles ne comprennent pas non plus les impacts non financiers, tels que la dégradation de la qualité de vie ou la perte de réputation.

Une catastrophe ou un désastre naturel est un événement causé par des forces naturelles. Les catastrophes naturelles dues à la météo comprennent les phénomènes hydrologiques (p. ex. les inondations), météorologiques (p. ex. les tempêtes, le vent, la grêle, la foudre, les tornades, les cyclones tropicaux) et climatologiques (p. ex. les incendies de forêt, les chaleurs extrêmes), mais excluent les phénomènes géophysiques (p. ex. les tremblements de terre, les éruptions volcaniques).

Source : Munich RE, 2018; Swiss Re Institute, 2018.

En 2018, les catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques ont causé à l'échelle mondiale des pertes économiques totales d'environ 215 milliards de dollars (en dollars US de 2018), dont les assureurs privés ont versé un montant record de 100 milliards de dollars pour des pertes (Munich RE, 2020). L'écart de protection mondial, soit la différence entre les pertes assurées et les pertes totales, s'élevait donc à 115 milliards de dollars (54 % des pertes économiques totales). Ces chiffres sont similaires à ceux produits par l'Institut Swiss Re pour 2018 : les pertes économiques totales estimées et les pertes assurées dans les catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques dans le monde étaient, respectivement, d'environ 201 et 98 milliards de dollars (en dollars US de 2018), l'écart de protection étant donc d'environ 103 milliards de dollars (soit 51 % des pertes économiques totales) (Swiss Re Institute, 2019a). Tant les pertes économiques que les pertes assurées en 2018 ont été supérieures à la moyenne annuelle ajustée en fonction de l'inflation correspondante pendant les dix dernières années (2008–2018), soit respectivement de 174 et 65 milliards de dollars (Munich RE, 2020).

Les pertes économiques dues aux catastrophes naturelles sont en augmentation dans le monde. Les pertes globales et les pertes assurées ont connu une tendance à la hausse au cours des dernières décennies, comme le montre la figure 6.4, qui présente les données relatives aux pertes mondiales pendant la période de 1980 à 2018, comme elles ont été enregistrées par Munich RE, la plus grande société de réassurance au monde. Les données sur les pertes enregistrées par l'Institut Swiss Re montrent également une hausse des dommages économiques causés par les catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques dans le monde entier (Swiss Re Institute, 2019a). En termes de moyennes mobiles sur cinq ans, les pertes mondiales enregistrées par Munich RE ont augmenté de 5,1 % par an entre 1980 et 2018, et les pertes assurées ont augmenté de 4,3 % par an. La croissance des pertes économiques globales étant supérieure à celle des pertes assurées, l'écart de protection s'est accru au fil du temps en dollars absolus, bien que l'écart en pourcentage soit en baisse. Malgré une pénétration croissante des produits d'assurance concernés avec une plus grande proportion de dommages couverts par l'assurance (Swiss Re Institute, 2019a), la société absorbe des pertes résiduelles croissantes en raison des catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques.

Les pertes économiques dues aux catastrophes naturelles qui touchent les États-Unis sont également en hausse (p. ex. National Centers for Environmental Information, 2020). Par exemple, la fréquence des catastrophes se chiffrant en milliards de dollars entre 1980 et 2011 a augmenté d'environ 5 % par an (Smith et Katz, 2013). Au cours de la période de 1980 à 2019, les États-Unis ont connu, en moyenne, 6,6 phénomènes par an. Pour la période de cinq ans la plus récente (2015–2019), le nombre moyen annuel de catastrophes se chiffrant en milliards de dollars était à peu près le double, soit 13,8 phénomènes (National Centers for Environmental Information, 2020).

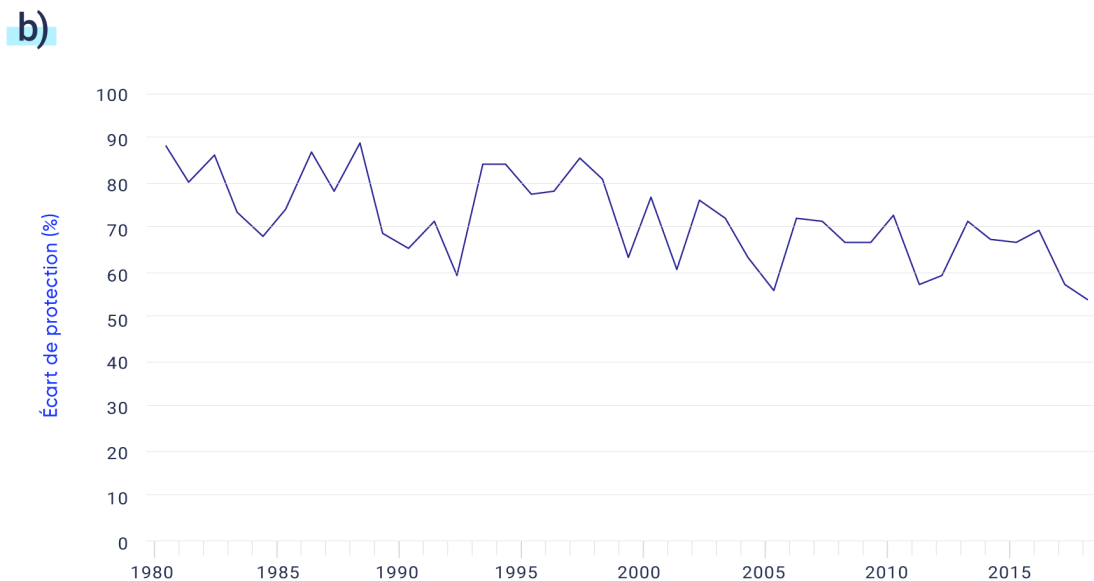
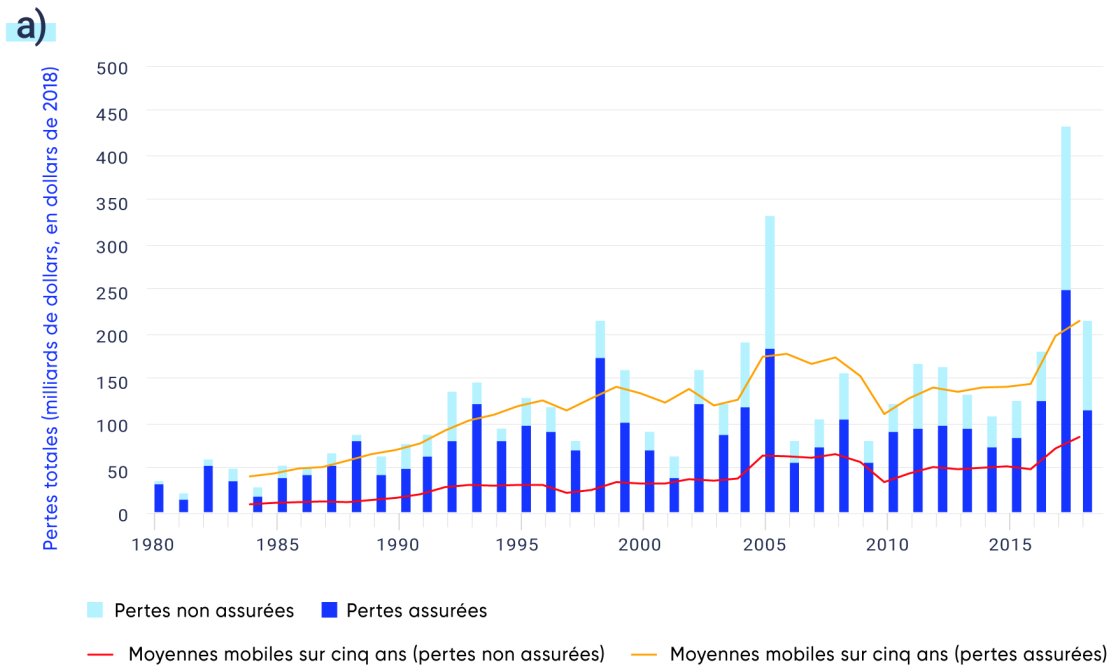


Figure 6.4 : La figure montre les pertes assurées et non assurées annuelles (en dollars canadiens de 2018) dues aux 15 788 phénomènes météorologiques (p. ex. inondations, tempêtes, feux de forêt, chaleur extrême) dans le monde entier qui répondent aux seuils d'inclusion NatCatSERVICE de Munich RE pour les pertes en dollars et les décès au cours de la période de 1980 à 2017. a) Les barres bleu foncé indiquent le total des pertes assurées et les barres bleu pâle indiquent le total des pertes non assurées dans toutes les pertes liées aux conditions météorologiques dans le monde pour chaque année. Les barres combinées bleu clair et bleu foncé indiquent le total des pertes économiques dans toutes les pertes liées aux conditions météorologiques dans le monde pour chaque année. b) Cette figure illustre l'« écart de protection », c'est-à-dire la proportion des pertes assurées par rapport aux pertes économiques totales, mettant en évidence les pertes économiques générées par les catastrophes qui ne sont pas couvertes par une assurance. Source des données : Munich RE, 2020.

6.4.3 Tendances en matière de dommages au Canada

La Base de données canadienne sur les catastrophes de Sécurité publique Canada fait le suivi des pertes économiques globales dans les catastrophes météorologiques et hydrologiques importantes, y compris les paiements effectués dans le cadre du programme des AAFCC (voir ci-dessous) et ceux effectués par les assureurs privés. Le Bureau d'assurance du Canada (BAC) suit également les indemnités versées par les assurances privées pour des phénomènes météorologiques extrêmes remontant à 1983. Cependant, les données sur les pertes globales dans la Base de données canadienne sur les catastrophes semblent incomplètes si l'on considère que, dans plus de la moitié des années depuis 1983, les pertes assurées enregistrées par le BAC ont dépassé les pertes économiques totales dans la Base de données canadienne sur les catastrophes. En raison de la nature incomplète des données sur les pertes économiques, l'exposé ci-dessous ne porte que sur les pertes assurées. Si l'on considère que les États-Unis constituent une analogie raisonnable pour le Canada, les pertes globales dues aux phénomènes météorologiques extrêmes représentent environ le double du montant des pertes assurées (Aon, 2020).

Les pertes assurées au Canada sont en hausse depuis 1983, comme le montre la ligne de tendance de la figure 6.5. Entre 1983 et 2007, les pertes annuelles étaient en moyenne d'environ 0,4 milliard de dollars (en dollars de 2018). En revanche, au cours de la plus récente décennie, les pertes ont atteint en moyenne environ 1,9 milliard de dollars par année (Bureau d'assurance du Canada, 2018). La plus grande perte assurée enregistrée au cours d'une seule année a été de 5,3 milliards de dollars (en dollars de 2018) en 2016, concernant l'incendie de forêt qui a touché Fort McMurray et ses environs et entraîné des paiements d'assurance totalisant 3,9 milliards de dollars (Bureau d'assurance du Canada, 2019).

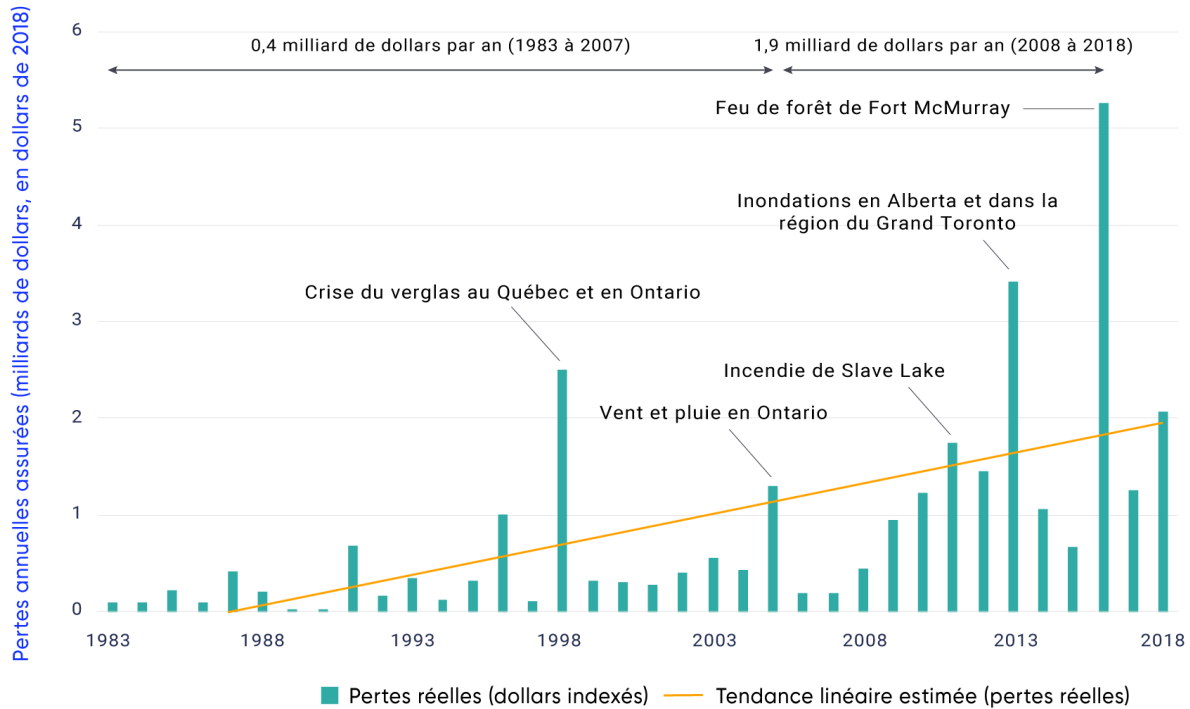


Figure 6.5 : La figure montre les pertes annuelles assurées plus les frais de règlement (en dollars de 2018) à la suite de phénomènes météorologiques extrêmes au Canada pour la période de 1983 à 2018. La hauteur des barres indique le total des pertes et des dépenses liées à tous les phénomènes météorologiques extrêmes pour chaque année. La ligne orange continue montre la tendance à la hausse estimée des pertes assurées plus les frais de règlement. Source des données : Bureau d'assurance du Canada, 2018.

Comme les pertes assurées, le nombre de phénomènes météorologiques extrêmes a augmenté au fil du temps, la moyenne mobile sur cinq ans ayant progressé d'environ 7 % par an entre 1983 et 2018. En ce qui concerne la répartition des phénomènes météorologiques extrêmes au Canada, c'est l'Alberta qui a été la plus touchée, avec 55 événements ayant touché la province au cours de la période de 1983 à 2018, suivie de près par l'Ontario, avec 52 événements. Les provinces maritimes ont été les moins touchées. L'Alberta est l'épicentre des phénomènes météorologiques extrêmes en ce qui a trait aux pertes : six des dix plus importants sinistres assurés au Canada depuis 1983 se sont produits dans cette province (voir le tableau 6.1).

Tableau 6.1 : Les 10 catastrophes liées aux conditions météorologiques les plus coûteuses au Canada, en termes de pertes assurés (1983–2018)

RANG	DATE DU PHÉNOMÈNE	RÉGION TOUCHÉE, PROVINCE	PHÉNOMÈNE(S) MÉTÉOROLOGIQUE(S)	PERTE ASSURÉE(EN MILLIONS DE \$)*
1	Du 3 au 19 mai 2016	Fort McMurray (Alberta)	Incendie	3 899,1
2	Janvier 1998	Sud du Québec	Tempête de verglas	2 022,3
3	Du 19 au 24 juin 2013	Sud de l'Alberta	Inondation, eaux	1 737,4
4	Le 8 juillet 2013	Région du Grand Toronto (Ontario)	Inondation, foudre, eaux	1 004,6
5	Le 19 août 2005	Sud de l'Ontario	Grêle, tornades, vents	779,7
6	Le 4 mai 2018	Hamilton (Ontario), région du Grand Toronto (Ontario) et Québec	Tempête de vent, eaux	680,0
7	Les 15 et 16 mai 2011	Slave Lake (Alberta)	Incendie, tempête de vent	587,6
8	Le 7 août 2014	Centre de l'Alberta	Tempête de vent, grêle, foudre, eaux	582,3
9	Le 12 août 2012	Calgary (Alberta)	Grêle, foudre, eaux	571,8
10	Le 12 juillet 2010	Calgary (Alberta)	Grêle, inondation, tempête de vent, foudre	557,7

* Les montants sont exprimés en dollars de 2018.

Source des données : Bureau d'assurance du Canada, 2019.

Comme pour les paiements des assureurs privés, le coût annuel du programme fédéral des AAFCC est en hausse depuis les années 1970 (Bureau du vérificateur général du Canada, 2016; Directeur parlementaire du budget, 2016). En cas de catastrophe, et si les coûts d'intervention et de recouvrement dépassent certains seuils pouvant être assumés par une province ou un territoire seul, le gouvernement du Canada fournit une aide financière à échelle mobile par l'intermédiaire du programme des AAFCC. Les paiements sont versés directement aux provinces, qui distribuent ensuite les fonds aux personnes, aux entreprises, aux organismes à but non lucratif et aux administrations locales. Entre 1970 et 1994, les paiements annuels moyens des AAFCC pour les ouragans, les orages convectifs, les inondations et les tempêtes hivernales se sont élevés en moyenne à 56 millions de dollars (en dollars de 2018) (Directeur parlementaire du budget, 2016). En revanche, les versements annuels moyens se sont élevés à 303 et 427 millions de dollars (en dollars de 2018) au cours des périodes de 1995 à 2004 et de 2005 à 2014, respectivement (Directeur parlementaire du budget, 2016).

Les tendances à long terme des pertes ont été interprétées comme étant le signe d'un déficit contemporain en matière d'adaptation (Burton, 2009) et d'une augmentation des risques futurs liés aux changements climatiques (Hallegatte, 2014; Schipper et Pelling, 2006). De nombreuses raisons expliquent le déficit observé en matière d'adaptation, notamment une gamme de défaillances du marché, des comportements et des politiques (voir la section 6.8.1). Ce déficit s'est accru et devrait continuer à croître avec les changements climatiques (Burton, 2009), ce qui renforce le plaidoyer en faveur d'efforts d'adaptation précoces.

6.4.4 Qu'est-ce qui influence la hausse des pertes?

La hausse observée des pertes dues aux catastrophes climatiques a conduit à des interrogations pour savoir si les changements climatiques contribuent à cette tendance (Bouwer, 2011). Le GIEC, par exemple, a suggéré que la tendance à la hausse des pertes historiques constituait une preuve indirecte d'un signal potentiel de changements climatiques. Toutefois, certains chercheurs ont fait valoir que pour établir des comparaisons fiables entre les pertes subies lors de catastrophes naturelles liées aux conditions climatiques passées et plus récentes, il est nécessaire de tenir compte de l'évolution des divers facteurs socio-économiques qui influent sur l'ampleur des pertes. Autrement, on compare des pommes avec des oranges (p. ex. Pielke, 2007). Le processus d'ajustement des facteurs socio-économiques et non climatiques pertinents est connu sous le nom de « normalisation des pertes » (Swiss Re Institute, 2020; Pielke et coll., 2003). La normalisation permet de répondre à la question suivante : « Quelle serait l'ampleur des pertes si les actifs et les valeurs actuels étaient exposés à un phénomène d'ampleur historique? ». Les analyses des pertes normalisées aident à clarifier la mesure dans laquelle les facteurs socio-économiques contribuent à l'augmentation des dommages observés au fil du temps et, par inférence, le rôle d'autres facteurs dans le profil des tendances en matière de pertes. Un facteur probable contribuant à la tendance à l'augmentation des pertes est l'amélioration et l'approfondissement de la collecte de données au fil du temps. De même, les pertes inférieures observées au début des années 1980 peuvent s'expliquer en partie par un manque de données disponibles.

Les études qui analysent les séries chronologiques des pertes économiques et assurées normalisées dans les catastrophes liées aux conditions météorologiques, qu'elles se produisent à l'échelle mondiale ou régionale, donnent des résultats mitigés. Certaines études ne trouvent aucune tendance importante à la hausse, malgré des augmentations substantielles des pertes nominales (p. ex. Bouwer, 2011; Neumayer et Barthel, 2011).

D'autres études trouvent des tendances à long terme statistiquement significatives en matière de pertes (p. ex. Gall et coll., 2011; Schmidt et coll., 2009). Une étude récente des pertes normalisées liées aux catastrophes naturelles à l'échelle mondiale a mis au jour des données probantes solides indiquant une inclinaison vers la droite de la distribution des pertes et une tendance à la hausse correspondante des dommages extrêmes, mais des données moins probantes concernant une tendance à la hausse des pertes moyennes (Coronesea et coll., 2019).

La figure 6.6 présente les pertes assurées normalisées pour les mêmes phénomènes météorologiques extrêmes au Canada, comme indiqué dans la figure 6.5. Les pertes sont normalisées à l'aide d'une approche conventionnelle (p. ex. Miller et coll., 2008; Pielke et coll., 2008; Pielke et coll., 2003) : les valeurs nominales originales, non ajustées en fonction de l'inflation, sont modifiées par trois multiplicateurs pour tenir compte des changements dans les prix à la production, la population et la richesse, qui sont mesurés en termes de PIB par habitant au cours du temps. Une tendance positive importante, bien que moins marquée, est encore observée dans les pertes normalisées dues à des catastrophes liées aux conditions météorologiques au Canada. Cette tendance à la hausse est également évidente si l'on considère la moyenne mobile sur cinq ans des pertes normalisées, qui a produit un taux de croissance annuel de 3,5 % entre 1983 et 2018. Ce taux était toujours en augmentation, mais à un rythme beaucoup plus lent que celui des pertes nominales (10,6 %) et des pertes réelles (8,2 %), ajustées en fonction de l'inflation, au cours de la même période. Depuis 1983, la tendance à la hausse des pertes assurées associées aux phénomènes météorologiques extrêmes au Canada est principalement due à une accumulation de valeur (p. ex. personnes, biens, richesse) d'année en année. Mais la hausse des pertes ne peut s'expliquer entièrement par une augmentation de l'exposition aux risques, de la valeur des actifs et de l'inflation générale des prix : les changements climatiques pourraient jouer un rôle. Bien qu'une hausse des pertes normalisées ne soit pas une « preuve » de la présence des changements climatiques, elle est certainement cohérente avec l'intensification prévue de certains phénomènes météorologiques extrêmes avec la hausse des températures (Swiss Re Institute, 2020; Coronesea et coll., 2019; GIEC, 2013).

Les recherches sur l'attribution des phénomènes au Canada, qui évaluent la façon dont la probabilité des phénomènes météorologiques extrêmes est modifiée par les émissions de GES dues à l'activité humaine, ont montré que les changements climatiques ont augmenté la probabilité de l'incendie de Fort McMurray survenu en 2016 et des pluies extrêmes qui ont contribué aux inondations de 2013 dans le Sud de l'Alberta (Zhang et coll., 2019), deux des catastrophes météorologiques les plus coûteuses jamais enregistrées au Canada (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »).

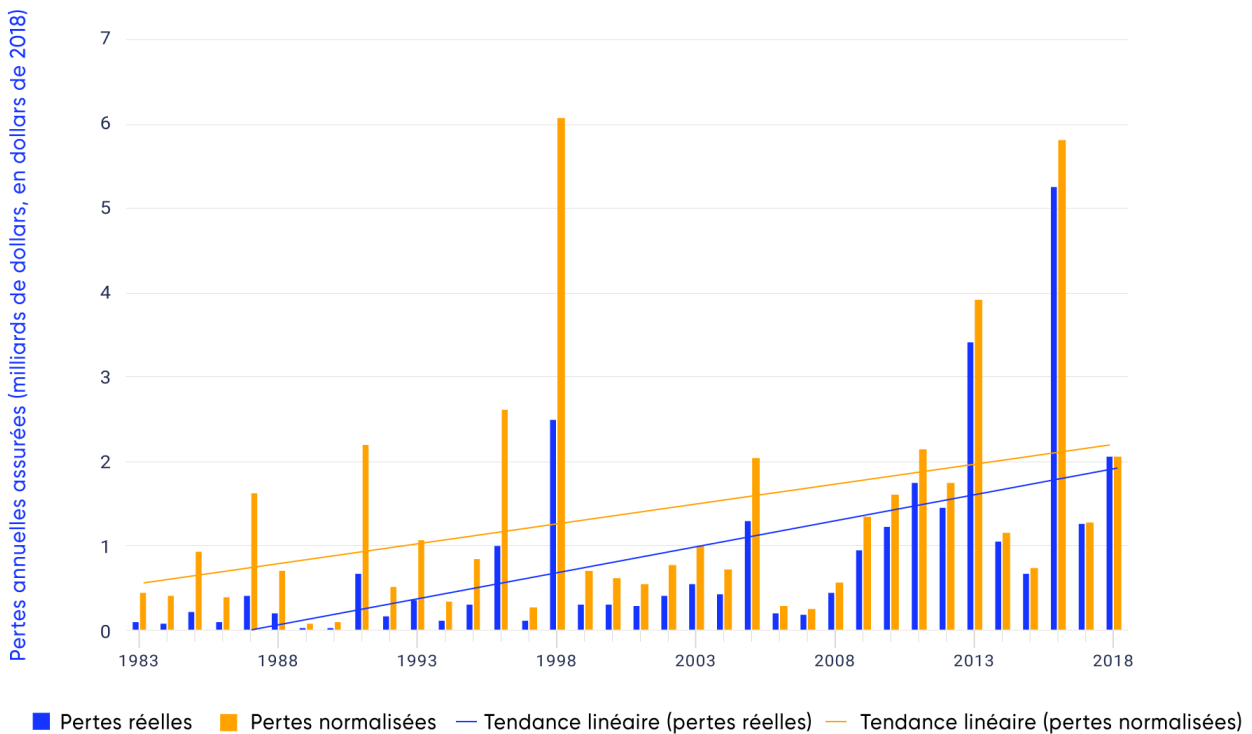


Figure 6.6 : Pertes annuelles assurées normalisées plus les frais de règlement (en dollars de 2018) résultant de phénomènes météorologiques extrêmes au Canada pour la période de 1983 à 2018. Les pertes sont normalisées selon l'approche utilisée dans Pielke et coll., 2008, Miller et coll., 2008, et Pielke et coll., 2003, qui corrige en fonction de l'inflation et des changements dans la population et la richesse au fil du temps. La hauteur des barres indique les pertes totales normalisées (orange) et les pertes réelles (bleu), plus les dépenses liées à tous les phénomènes météorologiques extrêmes pour chaque année. Les lignes continues montrent la tendance à la hausse estimée des pertes normalisées (orange) et des pertes réelles (bleu), plus les frais de règlement. Source des données : Bureau d'assurance du Canada, 2019.

6.5 Les coûts futurs des changements climatiques seront élevés pour le Canada

Bien que les changements climatiques présentent certains avantages pour le Canada, les impacts économiques connexes sont extrêmement négatifs. La plupart des données probantes disponibles ne couvrent qu'un sous-ensemble de l'étendue des impacts économiques potentiels des changements climatiques pour le Canada. Les coûts anticipés sont vraisemblablement très conservateurs.

En l'absence de nouvelles mesures d'adaptation, les données probantes disponibles suggèrent que les changements climatiques auront un impact négatif sur le taux de croissance économique au Canada et entraîneront des conséquences économiques négatives pour la foresterie, les régions côtières, la région des

Grands Lacs (associées à de faibles niveaux d'eau), la santé publique et les stations de ski au Québec et en Colombie-Britannique. Dans les scénarios d'émissions élevées, les coûts économiques pour ces secteurs pourraient varier de quelques centaines de millions à quelques dizaines de milliards de dollars par an d'ici le milieu du siècle, et pourraient être encore plus élevés à la fin du siècle. La plupart des études prévoient des avantages économiques pour le secteur agricole en raison des changements climatiques, les gains les plus importants étant prévus pour les provinces des Prairies, tandis que certaines études mondiales à grande échelle prévoient des pertes mineures pour le secteur agricole canadien. Le peu de données probantes disponibles pour les villes suggère que les changements climatiques auront des impacts économiques négatifs potentiellement importants. Les approches permettant d'étudier les conséquences économiques des changements climatiques ont considérablement progressé au cours de la dernière décennie. Cependant, il est nécessaire d'améliorer la cohérence entre les différentes études en ce qui concerne leur portée, leurs hypothèses et leurs données de base, et de raffiner davantage les méthodes afin de pouvoir formuler des conclusions plus solides sur l'importance des impacts économiques pour un secteur ou une région par rapport à d'autres. Il y a également d'importantes lacunes à combler en matière de connaissances. Les informations sur les impacts économiques des changements climatiques sont limitées à quelques secteurs, régions et municipalités et sont manquantes en ce qui concerne les peuples autochtones.

6.5.1 Introduction

Le coût futur de l'inaction, c'est-à-dire les conséquences économiques de l'absence de mesures d'adaptation planifiées et de la continuation inchangée des changements climatiques, est une information économique essentielle pour la prise de décisions en matière de changements climatiques (Ackerman et Stanton, 2011; Agence européenne pour l'environnement, 2007). Bien que l'ampleur des coûts prévus en cas d'inaction soit incertaine, des estimations soigneusement soumises à des réserves peuvent être utilisées en tandem avec des informations sur les coûts actuels des extrêmes climatiques et météorologiques (voir la section 6.4) afin de persuader les décideurs de la nécessité urgente d'allouer des ressources à l'adaptation et de privilégier une allocation de ces ressources pour faire face aux principaux risques aux changements climatiques. Les coûts prévus fournissent également une valeur de base pour évaluer le coût des projets, programmes et politiques d'adaptation. Pour compléter l'information sur les coûts observés des phénomènes météorologiques extrêmes historiques présentés à la section 6.4, cette section examine les données probantes disponibles sur les coûts futurs anticipés des changements climatiques au Canada : évaluation des coûts globaux, multisectoriels et nationaux, évaluation des coûts pour des secteurs sensibles aux changements climatiques aux niveaux national, régional et provincial, et évaluation des coûts pour certaines municipalités.

6.5.2 Évaluations nationales multisectorielles des coûts

Les estimations globales des conséquences économiques des changements climatiques, limitées au Canada et impliquant plusieurs secteurs, sont rares. L'étude fréquemment citée de la TRNEE (TRNEE, 2011) demeure l'évaluation nationale multisectorielle de référence des coûts économiques des changements climatiques pour le Canada. À l'aide du modèle d'évaluation intégrée, PAGE09 (Hope, 2011), le coût économique futur des changements climatiques pour le Canada a été estimé pour deux scénarios climatiques et deux scénarios socio-économiques, produisant quatre futurs plausibles : 1) « faibles changements climatiques – croissance lente », 2) « faibles changements climatiques – croissance rapide », 3) « changements climatiques élevés – croissance lente » et 4) « changements climatiques élevés – croissance rapide ».² Les coûts annuels prévus pour le Canada en 2050, en supposant l'absence de nouvelles adaptations, vont de 30 milliards de dollars (en dollars de 2019) dans le scénario « faibles changements climatiques – croissance lente » à 62 milliards de dollars dans le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide ». Dans le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide », un plus grand nombre de personnes, de biens et de richesses sont exposés à un changement de température plus prononcé que dans le scénario « changements climatiques faibles – croissance lente », ce qui entraîne des coûts prévus plus importants. Le modèle PAGE09 tient explicitement compte de l'incertitude dans ses paramètres, ce qui génère une distribution de la fréquence des coûts annuels estimés. Les répartitions des coûts possibles pour tous les scénarios suggèrent qu'il existe une petite probabilité que les coûts soient beaucoup plus élevés, puisqu'il y a 5 % de chance que le coût annuel des changements climatiques en 2050 dépasse 131 milliards de dollars dans le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide ». D'ici 2075, selon les quatre mêmes combinaisons de scénarios plausibles, les coûts annuels devraient se situer dans un intervalle entre 74 et 319 milliards de dollars, avec une probabilité de 5 % qu'ils dépassent 1 185 milliards de dollars par an selon le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide ». Ces projections reflètent les coûts prévus non actualisés du réchauffement pour les secteurs économiques traditionnels (p. ex. construction, secteur manufacturier, commerce de détail, services éducatifs) et les secteurs non économiques (p. ex. impacts sur la santé et les écosystèmes), les coûts prévus de l'élévation du niveau de la mer et les coûts prévus des phénomènes catastrophiques « à gravité extrême »³ (p. ex. fonte rapide des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique occidental) (TRNEE, 2011).

Les seules autres estimations nationales multisectorielles de l'impact global des changements climatiques sur le Canada proviennent d'études macroéconomiques mondiales à grande échelle. Les résultats de trois de ces études pour le Canada sont présentés dans le tableau 6.2. Ces trois études utilisent des approches similaires, qui impliquent l'intégration d'informations sur les impacts biophysiques et sur l'évaluation économique dérivée d'évaluations indépendantes des dommages pour des secteurs particuliers (comme

- 2 Le scénario de faibles changements climatiques (SRES B1 du GIEC) suppose un changement de la moyenne annuelle des températures pour le Canada de +3,4 °C d'ici 2050, avec une augmentation de +28 cm du niveau de la mer. Les changements supposés de la température et du niveau de la mer dans le cadre du scénario de changements climatiques élevés (SRES A2 du GIEC) d'ici 2050 sont de +3,6 °C et +29 cm, respectivement (TRNEE, 2011). La croissance annuelle moyenne du PIB dans le cadre du scénario de croissance lente et du scénario de croissance rapide est supposée être de 1,3 % et 3,0 %, respectivement (TRNEE, 2011).
- 3 Un phénomène catastrophique « à gravité extrême » correspond à un phénomène où les coûts des catastrophes climatiques sont plus probables, caractérisé par une répartition de la probabilité qui n'a pas la forme caractéristique d'une cloche, mais plutôt une longue queue épaisse qui s'étend vers la droite.

l'agriculture) dans un modèle multirégional et multisectoriel de l'économie mondiale pour estimer l'impact des changements climatiques sur la production économique (PIB). Les études comprennent des catégories similaires d'impacts sectoriels (voir le tableau 6.2) et tirent des informations sur les dommages pour étayer l'ampleur des impacts prévus, provenant en grande partie du même ensemble d'études primaires (p. ex. Lafakis et coll., 2019; Kompass et coll., 2018; Roson et Sartori, 2016; Kjellstrom et coll., 2009; Bosello et coll., 2006; Hamilton et coll., 2005). Malgré ces similitudes, les résultats ne sont pas strictement comparables en raison, entre autres, des horizons temporels et des changements de température modélisés qui diffèrent, ainsi que des différences dans la manière dont les impacts liés aux changements climatiques estimés indépendamment sont intégrés à chaque modèle macroéconomique.

Tableau 6.2 : Résumé des conséquences économiques nationales pour le Canada à partir d'une sélection d'études macroéconomiques mondiales à grande échelle

ÉTUDE	IMPACT PRÉVU SUR LE PIB	SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	CATÉGORIES D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES INCLUSES DANS LES ÉVALUATIONS ¹
Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2015)	+0,89 % de variation du PIB réel par an en 2060, par rapport au PIB prévu sans impacts des changements climatiques	Changement régional prévu de la température annuelle moyenne en 2060 dans le cadre du RCP8.5 par rapport aux niveaux préindustriels de 1850 à 1900	<ul style="list-style-type: none">• Agriculture et pêches : changements dans les rendements de récolte et changements dans les prises de pêche• Zones côtières : perte de terres et de capitaux due à l'élévation du niveau de la mer• Phénomènes extrêmes : dommages causés par les ouragans• Santé publique : changements dans la productivité de la main-d'œuvre et les dépenses en soins de santé dues aux maladies à transmission vectorielle, aux maladies liées à la chaleur et au froid, aux diarrhées



ÉTUDE	IMPACT PRÉVU SUR LE PIB	SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	CATÉGORIES D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES INCLUSES DANS LES ÉVALUATIONS ¹
Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2015) (continué)			<ul style="list-style-type: none">• Demande énergétique résidentielle : changements dans les coûts de chauffage et de refroidissement des locaux• Tourisme : changements dans les flux touristiques nets et les dépenses associées
Kompass et coll. (2018)	- 0,10 % (+1 °C) à - 0,32 % (+4 °C) de variation du PIB réel par an en 2100 , par rapport au PIB prévu sans impacts des changements climatiques	Changement de +1 °C à +4 °C de la température annuelle moyenne mondiale d'ici 2100 par rapport aux niveaux préindustriels de 1850 à 1900	<ul style="list-style-type: none">• Agriculture : changements dans les rendements de récolte• Zones côtières : perte de terres due à l'élévation du niveau de la mer• Santé publique : changements dans la productivité de la main-d'œuvre et les dépenses de santé dus aux maladies à transmission vectorielle, aux maladies liées à la chaleur et au froid, aux diarrhées• Santé au travail : changements dans la productivité de la main-d'œuvre dus au stress thermique

ÉTUDE	IMPACT PRÉVU SUR LE PIB	SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	CATÉGORIES D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES INCLUSES DANS LES ÉVALUATIONS ¹
Lafakis et coll. (2019)	+0,31 % de variation du PIB réel en 2048 (quatrième trimestre), par rapport au PIB prévu sans impacts des changements climatiques	Changement prévu de la température annuelle moyenne mondiale en 2048 dans le cadre du RCP8.5 par rapport aux niveaux préindustriels de 1986 à 2005	<ul style="list-style-type: none">• Agriculture : changements dans les rendements de récolte• Zones côtières : perte de terres• Santé publique : changements dans la productivité de la main-d'œuvre et les dépenses en soins de santé dues aux maladies à transmission vectorielle, aux maladies liées à la chaleur et au froid, aux diarrhées• Santé au travail : changements dans la productivité de la main-d'œuvre dus au stress thermique• Demande énergétique résidentielle : changements dans les coûts de chauffage et de refroidissement des locaux• Tourisme : changements dans les flux touristiques nets et les dépenses connexes

¹ Les impacts biophysiques et économiques sont dérivés d'études indépendantes pour chaque catégorie d'impact des changements climatiques, et ces informations sont utilisées pour développer des « chocs » dans les modèles macroéconomiques mondiaux afin de simuler les impacts sur le PIB. Par exemple, Lafakis et coll., 2019, ont utilisé des changements prévus dans les prix du pétrole pour choquer le modèle macroéconomique analytique de Moody's pour les changements prévus dans la demande énergétique résidentielle liée aux changements climatiques.

Les trois études suggèrent que les impacts prévus des changements climatiques sur le PIB réel annuel du Canada seront inférieurs à (plus ou moins) 1 %. Bien qu'il s'agisse d'un faible pourcentage à l'échelle nationale, cela représente tout de même des montants très importants, qui seront notables pour les secteurs et les régions du Canada qui seront touchés. Aussi bien l'étude de Moody's Analytics que celle de l'OCDE prévoient de faibles gains nets pour l'économie canadienne. Dans chaque cas, le principal facteur à l'origine de ce résultat est l'augmentation prévue des flux touristiques, avec une diminution des départs nationaux et une augmentation des arrivées internationales à mesure que le Canada se réchauffe. Ces gains compensent largement les pertes de production attribuables aux autres impacts liés aux changements climatiques qui ont été analysés. Toutefois, les hausses prévues des flux touristiques pour le Canada doivent être considérées avec prudence, en raison de la nature globale et simplifiée du modèle d'impact sous-jacent, dans lequel les flux touristiques ne dépendent que de la température annuelle moyenne, des revenus par habitant, d'un indice d'attrait et de la distance entre les capitales des pays d'origine et de destination (Hamilton et coll., 2005). D'autres déterminants essentiels pour les flux touristiques futurs sont ignorés, notamment l'influence de l'évolution des régimes des précipitations, les contraintes liées à l'offre sur la disponibilité des infrastructures touristiques ainsi que les effets de rétroaction sur les arrivées internationales dus à la réduction des revenus dans les pays d'origine liée aux impacts des changements climatiques sur d'autres secteurs de l'économie mondiale. Kompass et coll. (2018) ont délibérément exclu de leur analyse les fonctions de dommages liés aux changements climatiques pour le tourisme en raison de ces préoccupations, et ils ont prévu de faibles pertes nettes pour l'économie canadienne liées aux changements climatiques.

Des estimations de l'impact global des changements climatiques sur l'économie canadienne sont disponibles dans une autre étude macroéconomique mondiale. Kahn et coll. (2019) ont utilisé une approche empirique « descendante », qui estime une relation entre une variable climatique (p. ex. la température) et une mesure globale de la production économique pour l'ensemble de l'économie (p. ex. le PIB national), pour étudier l'impact des changements climatiques sur la croissance économique à long terme dans 174 pays, dont le Canada. Pour mettre les résultats de cette étude en perspective, le modèle d'évaluation intégrée PAGE09 utilisé par la TRNEE mesure les impacts des changements climatiques sur les niveaux de PIB, et non sur le taux de croissance du PIB (c.-à-d. qu'il mesure les effets de la croissance à court terme). Cependant, les changements climatiques peuvent causer des dommages durables aux stocks de capital et à la productivité dans la plupart des secteurs de l'économie, et sont susceptibles d'avoir un impact sur les taux de croissance à long terme (Revesz et coll., 2014; Stern, 2013). Dans ce cas, la production et la consommation à une date ultérieure ne dépendront pas uniquement de la température à cette date, mais seront plus susceptibles d'être touchées par l'ensemble de l'évolution de la température, de la production et de la consommation jusqu'à cette date. Les études qui ont examiné les impacts des changements climatiques sur les taux de croissance du PIB ont constaté des pertes nettement plus importantes que les études qui ont mesuré les impacts sur le niveau annuel du PIB (Diaz et Moore, 2017a, b). Les évaluations résumées dans l'annexe 6.1 incorporent un mélange des deux effets : certains des impacts sectoriels analysés ont eu une incidence sur les taux de croissance du PIB (p. ex. les dommages causés par l'élévation du niveau de la mer aux stocks de capital), tandis que d'autres ont eu une incidence sur les niveaux de production (p. ex. les changements dans les rendements de récolte).

Kahn et coll. (2019) ont utilisé un modèle reliant les écarts de température annuelle moyenne dans les normes passées, au cours de la période de 1960 à 2014, aux variations de la productivité de la main-d'œuvre (voir l'étude de cas 6.2), puis au PIB réel par habitant. Le modèle a été utilisé pour étudier l'effet cumulatif

des changements de la productivité de la main-d'œuvre résultant des augmentations persistantes de la température annuelle moyenne dans le cadre du RCP8.5. Contrairement aux projections présentées dans l'annexe 6.1, Kahn et coll. (2019) ont constaté que les changements climatiques réduiraient considérablement le PIB réel par habitant au Canada en 2050 et en 2100, de 4,4 % et de 13,1 %, respectivement.

Les études macroéconomiques mondiales dont il est question ci-dessus ont plusieurs limites, ce qui signifie que les impacts prévus des changements climatiques pour le Canada sont probablement très largement négatifs et beaucoup plus marqués que ce qui est indiqué. Pour commencer, de nombreux impacts importants ont été omis, notamment les impacts sur le bétail et l'aquaculture, les changements dans les rendements de la foresterie, les impacts associés à la propagation d'espèces envahissantes et de ravageurs, les impacts du stress hydrique sur la production d'électricité et la disponibilité d'eau potable pour les utilisateurs finaux, les impacts sur la sécurité humaine (p. ex. les conflits et les migrations) et les impacts sur la prestation d'écoservices. De plus, les études macroéconomiques ne peuvent pas rendre compte des impacts non liés au marché, comme les pertes de bien-être dues aux impacts sur les écoservices culturels, la mortalité prématurée ou la douleur et la souffrance dues aux maladies ou aux blessures. Les conséquences économiques des phénomènes météorologiques extrêmes n'ont pas non plus été abordées, à l'exception des ouragans dans l'étude de l'OCDE. Les coûts de ces catastrophes peuvent être considérables (voir les sections 6.4, 6.5.2 et 6.5.3). Enfin, les catastrophes perturbatrices de grande envergure ou à « gravité extrême » n'ont pas été prises en compte.

Étude de cas 6.2 : L'impact des changements climatiques sur le travail et la production

Un champ de recherche en plein essor sur les conséquences macroéconomiques des changements climatiques consiste à examiner l'impact de la température et du stress thermique sur la productivité des travailleurs dans l'ensemble de l'économie (p. ex. Newell et coll., 2018; Heal et Park, 2016; Kjellstrom et coll., 2015; Dell et coll., 2014). Il existe une relation observable entre la température des lieux de travail et le rendement : au-delà d'une certaine température, la productivité horaire des travailleurs ou le temps alloué au travail diminue (Zivin et Neidell, 2014; Dunne et coll., 2013; Kjellstrom et coll., 2013; 2009). Par exemple, Vanos et coll. (2019) ont constaté que les manœuvres d'un site industriel extérieur en Ontario ont perdu, en moyenne, 22 heures chaque été (soit l'équivalent d'environ 1 % des heures de travail annuelles) en raison de pauses ou d'arrêts de travail dus au stress thermique.

Le risque de maladies liées à la chaleur augmente avec le niveau d'effort physique requis pour effectuer une tâche donnée, la durée de la tâche, l'expérience du travailleur dans l'exécution de la tâche et la température ambiante du milieu de travail (Emploi et Développement social Canada, 2018). La chaleur générée par le corps a besoin d'être transférée vers l'environnement extérieur pour éviter que la température du corps n'augmente. Si le corps est incapable de dissiper la chaleur, il commence à ressentir des étourdissements, des crampes musculaires et de la fièvre. Dans des circonstances extrêmes, une exposition à des températures chaudes peut provoquer une détresse cardiovasculaire, respiratoire et cérébrovasculaire aiguë susceptible de mettre la vie en danger (Emploi et Développement social Canada, 2018).

À des températures plus basses sur les lieux de travail, avant que ces effets plus graves sur la santé ne se produisent, les travailleurs peuvent ressentir une diminution de leur « capacité de travail » (Kjellstrom et coll., 2015), où un stress lié à la température peut toucher les travailleurs de deux façons (Heal et Park, 2016) : 1) un inconfort physique ou psychologique direct et 2) une réduction de la productivité associée à la tâche, ce qui altère le degré d'effort exercé au cours d'une heure donnée ou le rendement marginal de cet effort. Ces deux effets directs peuvent nuire à l'offre de main-d'œuvre ou à la productivité, ce qui entraîne une perte de production économique (OIT, 2019; Dell et coll., 2012). De plus en plus d'auteurs constatent que ces pertes peuvent être substantielles dans divers scénarios climatiques futurs, en particulier pour les secteurs à haut risque dont la main-d'œuvre travaille principalement à l'extérieur (p. ex. l'agriculture, la foresterie, la construction, l'exploitation minière, les transports, les services publics) (Zivin et Neidell, 2014). Par exemple, la Environmental Protection Agency des États-Unis (2017) a constaté qu'environ 1,9 milliard d'heures de travail dans des secteurs à haut risque seront perdues chaque année aux États-Unis d'ici 2090 dans le cadre du RCP8.5 en raison de l'exposition des lieux de travail à des extrêmes de température (c.-à-d. une moyenne des températures maximales quotidiennes supérieure à 80 °F) (voir également Chavaillaz et coll., 2019; Behrer et Park, 2017; US Environmental Protection Agency, 2015; Rhodium Group, 2014; Kovats et coll., 2011). Cela équivaut à environ 160 milliards de dollars (en dollars US de 2015) en salaires perdus par an d'ici 2090, les salaires bruts étant utilisés comme une mesure approximative de la valeur de la production économique perdue (US Environmental Protection Agency, 2015), ce qui représente un peu moins d'un tiers du total des dommages annuels estimés dans le cadre du RCP8.5 pour toutes les catégories d'impact analysées. Les impacts prévus sur la productivité de la main-d'œuvre constituaient la catégorie d'impact la plus importante sur le plan économique (US Environmental Protection Agency, 2017).

Des estimations de l'impact des changements climatiques sur le stress thermique en milieu professionnel et les décisions connexes relatives à la main-d'œuvre, la productivité de la main-d'œuvre et la production économique pour le Canada ne sont disponibles que dans des études à échelle mondiale, et seulement du point de vue national (p. ex. Chavaillaz et coll., 2019; Kahn et coll., 2019). Kahn et coll. (2019) ont constaté que l'effet cumulatif des changements de la productivité de la main-d'œuvre dus aux augmentations persistantes de la température annuelle moyenne dans le cadre du RCP8.5, par rapport aux normes passées, au cours de la période de 1960 à 2014, a considérablement réduit le PIB réel par habitant au Canada en 2050 et en 2100, et ce, de 4,4 % et de 13,1 % respectivement. On pourrait s'attendre à ce que ces pertes au niveau national soient réparties de façon inégale dans l'ensemble du Canada. L'ampleur des pertes dans une région dépendra de l'évolution prévue de la répartition historique des températures quotidiennes en fonction des changements climatiques et de la structure de l'économie, en termes de contributions relatives des secteurs à haut risque (main-d'œuvre travaillant principalement à l'extérieur) et à faible risque (main-d'œuvre travaillant principalement à l'intérieur) à la production globale.

Les données probantes disponibles plaident fortement en faveur de l'inclusion des impacts du stress thermique en milieu professionnel dans les futures analyses macroéconomiques des conséquences économiques des changements climatiques pour le Canada. Il est important que ces évaluations tiennent compte de l'hétérogénéité entre les régions en matière de composition sectorielle de leur économie.

6.5.3 Évaluation des coûts sectoriels et régionaux

Alors que seules quelques études fournissent des estimations des coûts globaux pour de multiples secteurs au Canada, beaucoup plus d'études ont examiné les conséquences économiques des changements climatiques pour des secteurs particuliers sensibles au climat (p. ex. la foresterie, l'agriculture, les zones côtières). L'annexe 6.1 fournit un résumé de ces études et résultats, organisé par secteur sensible au climat.

Il est presque impossible de comparer l'ampleur et l'importance relatives des conséquences économiques estimées entre les secteurs sensibles au climat, ou même au sein d'un même secteur, en raison des différentes hypothèses et méthodes utilisées pour les différentes études. Outre les différences de portée géographique, les principales différences qui influencent les résultats entre les études sont les suivantes :

- Le choix du ou des scénarios d'émissions à l'origine des impacts biophysiques et, par conséquent, de la ou des périodes futures et des normes climatiques utilisées pour mesurer les changements dans les variables climatiques pertinentes. Dans le cas des zones côtières, par exemple, certaines études utilisent l'ancien rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions (SRES), tandis que d'autres utilisent les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP). Cela a une incidence sur l'horizon temporel sur lequel les flux de pertes ou de gains sont regroupés (p. ex. les études de l'annexe 6.1 évaluant les mêmes endroits de la zone côtière utilisent trois périodes différentes : 2009–2054, 2015–2064 et 2011–2100).
- Les hypothèses sur les développements socio-économiques futurs, qui influenceront à la fois la quantité et l'évaluation monétaire des bâtiments, des infrastructures, des cultures, etc. qui sont touchés dans le cadre de la situation de référence supposée et par rapport auxquels les impacts des changements climatiques prévus sont évalués. Certaines de ces études ont examiné l'impact des changements climatiques futurs sur un secteur donné à ce jour (sur la base d'informations actuelles ou passées), tandis que d'autres, comme les études de la TRNEE (2011) sur la foresterie et les zones côtières, ont examiné l'impact des changements climatiques futurs sur les projections pour le secteur.
- Si un ou plusieurs impacts biophysiques sont pris en compte. Par exemple, certaines études portant sur les zones côtières ont inclus l'érosion et les inondations dues à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête, tandis que d'autres n'ont considéré que les impacts des inondations.
- Les types de conséquences économiques résultant des impacts biophysiques inclus dans l'analyse. La plupart des études n'ont pris en compte que les impacts directs (p. ex. les coûts liés aux dommages, les changements dans la valeur des terres agricoles, les revenus perdus provenant de la pratique du ski, l'augmentation des coûts d'exploitation des stations de ski ou des coûts d'extinction des incendies), tandis que certaines études ont également évalué les impacts indirects et macroéconomiques. Les études les plus récentes ont mesuré les conséquences économiques en termes de changements dans le PIB ou le bien-être prévus, qui ont été estimés à l'aide de modèles IEG. De plus, certaines études qui ne mesuraient que les impacts directs tenaient compte à la fois des impacts liés au marché et des impacts non liés au marché (p. ex. les études sur les zones côtières du Québec), tandis que d'autres ne tenaient compte que des premiers.

- Le choix de l'outil de modélisation économique, notamment en ce qui concerne l'agriculture. La plupart des études agricoles recourent à un modèle ricardien (une approche qui estime une relation empirique entre la valeur des terres et les variables climatiques) pour estimer les conséquences économiques des changements climatiques sur la valeur des terres agricoles, tandis que certaines utilisent des modèles IEG. Comme mentionné ci-dessus, les modèles IEG mesurent les impacts directs et indirects et tiennent compte des réactions comportementales induites par le marché (prix) dans toute l'économie; quant aux modèles ricardiens, ils ne saisissent que les impacts directs et supposent généralement que les prix sont fixes. Les résultats des deux approches de modélisation appliquées à l'agriculture ne sont par conséquent pas comparables.
- Que les conséquences économiques soient mesurées en dollars actuels (nominaux) ou en dollars constants (réels) et que l'année de référence soit choisie dans ce dernier cas (p. ex. les études sur les zones côtières ont mesuré les coûts en dollars constants de 2000, de 2008 et de 2012). Cet enjeu est toutefois moins important, puisqu'il est possible d'exprimer tous les résultats en prix d'une année de référence commune.
- Le choix du taux d'actualisation, où les résultats sont présentés comme la valeur actuelle des pertes ou des gains cumulés sur un horizon temporel défini (p. ex. certaines études utilisent un taux d'actualisation annuel réel de 3 %, tandis que d'autres utilisent un taux de 4 %). Un taux d'actualisation plus élevé produira des coûts ou des avantages en valeur actuelle plus faibles, tandis qu'un taux d'actualisation plus faible produira l'inverse. À titre de référence, la valeur d'un coût de 1 \$ (en 2020) encouru dans les années 2080 est de 0,15 \$ et de 0,08 \$ à un taux d'actualisation de 3 % ou de 4 %, respectivement. Certaines études présentent également des coûts ou des avantages non actualisés. L'actualisation et les taux d'actualisation sont abordés à la section 6.6.3.2.

Bien que les facteurs susmentionnés rendent difficile l'établissement de conclusions fermes sur l'ampleur des impacts économiques, il est possible de tirer des conclusions sur la direction des impacts prévus pour tous les secteurs étudiés, à l'exception de l'agriculture. Les données probantes disponibles (fondées sur les études énumérées à l'annexe 6.1) suggèrent que les changements climatiques auront des conséquences économiques majoritairement négatives sur la foresterie, les zones côtières, la santé humaine au Québec, les niveaux d'eau (faibles) dans la région des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, les stations de ski en Colombie-Britannique et au Québec, et les routes de glace servant de voies d'accès dans les Territoires du Nord-Ouest. Les observations clés de cette série d'études, par secteur sensible au climat, sont présentées ci-dessous.

6.5.3.1 Foresterie

Les impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois d'œuvre (liés à des facteurs comme la productivité des forêts, les incendies, les ravageurs et les maladies) risquent de réduire la production, le PIB et le bien-être liés au secteur forestier. À l'échelle nationale, les pertes cumulées de PIB en valeur actualisée sur 70 ans jusqu'en 2080 pourraient atteindre 459 milliards de dollars (en dollars de

2008), sans mesures d'adaptation (Ochuodho et coll., 2012). Les pertes ne sont pas réparties uniformément dans l'ensemble du Canada : la Colombie-Britannique, la Saskatchewan, le Manitoba et les Territoires sont les régions les plus touchées en termes de pertes de PIB prévues (Ochuodho et coll., 2012; TRNEE, 2011). En revanche, le Québec et l'Ontario pourraient connaître de légères améliorations du PIB selon le scénario le plus optimiste des impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois d'œuvre, et des pertes modestes selon le scénario le plus pessimiste (Ochuodho et coll., 2012). Les changements climatiques devraient également augmenter les coûts historiques de gestion des incendies à l'échelle nationale de 60 à 120 % par an d'ici les années 2080, l'Alberta et la Saskatchewan connaissant des augmentations de coûts beaucoup plus importantes que la moyenne nationale (Hope et coll., 2015).

6.5.3.2 Régions côtières

On prévoit que les changements climatiques imposeront des coûts aux régions côtières du Canada. D'ici 2050, les dommages annuels causés par les inondations côtières attribuables aux changements climatiques pourraient varier de 1 à 8 milliards de dollars (en dollars de 2008), selon le scénario de croissance et d'émissions (TRNEE, 2011). En valeur actuelle, les pertes cumulées pour la période de 2011 à 2100 pourraient atteindre 380 milliards de dollars (en dollars de 2008) (TRNEE, 2011). Comme dans le secteur forestier, les pertes sont réparties de façon inégale dans l'ensemble du Canada : on estime que la Colombie-Britannique subira les pertes les plus importantes, représentant plus de 80 à 90 % des pertes totales à l'échelle nationale (Withey et coll., 2016; TRNEE, 2011). Des études régionales détaillées portant sur des tronçons déterminés de la côte au Québec et au Canada atlantique révèlent également une variation importante des pertes prévues, ce qui suggère que les coûts économiques des inondations côtières liées aux changements climatiques sont propres à chaque site (Boyer-Villemare et coll., 2016; Circé et coll., 2016b; Parnham et coll., 2016).

6.5.3.3 Niveaux d'eau

On s'attend à ce que les bas niveaux d'eau dans certaines parties du réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, en raison des changements climatiques à venir, aient un impact négatif sur toute une série d'activités économiques, de possibilités de loisirs et d'autres commodités riveraines. Les coûts cumulatifs en valeur actuelle associés à ces impacts devraient s'élever à 12 milliards de dollars sur 50 ans jusqu'en 2065 (en dollars de 2012) (Dorling et Hanniman, 2016; Millerd, 2005). Environ 90 % de ces coûts résultent de trois impacts économiques : le remplacement de la production hydroélectrique perdue (50 %), le manque à gagner des services écologiques et de la pêche (25 %) et la perte de capacité d'expédition (15 %) (Dorling et Hanniman, 2016; Millerd, 2005).

6.5.3.4 Santé humaine

Les modifications de l'incidence des problèmes de santé sensibles au climat dans les conditions climatiques futures peuvent accroître les dépenses en soins de santé et les pertes de bien-être. Au Québec, la valeur actuelle des dépenses cumulatives en services de santé attribuables à l'impact des changements climatiques sur les maladies à transmission vectorielle, les périodes de chaleur accablante et les aéroallergènes est estimée à un peu moins d'un milliard de dollars sur 50 ans jusqu'en 2065 (en dollars de 2012) (Larrivée et coll., 2015). La valeur actuelle des pertes de bien-être cumulées associées à l'augmentation de la mortalité, mesurée à l'aide de la valeur d'une vie statistique, est d'environ 35 milliards de dollars (en dollars de 2012) sur la même période (Larrivée et coll., 2015). Ce résultat est cohérent avec d'autres études économiques de l'impact des changements climatiques sur la santé humaine : les pertes de bien-être peuvent largement dépasser les coûts des ressources de santé (p. ex. Paci, 2014; Kovats et coll., 2011).

6.5.3.5 Stations de ski

Les changements climatiques devraient avoir un impact négatif sur la viabilité économique des stations de ski. Par exemple, on estime que le revenu net de trois stations au Québec diminuera d'un peu moins de 30 % sur une période de 20 ans, jusqu'en 2045, en raison des changements dans la durée de la saison de ski et dans les conditions d'enneigement (DaSilva et coll., 2019). Les données probantes concernant Fernie et Whistler, en Colombie-Britannique, montrent également que l'impact des changements climatiques sur les conditions d'enneigement peut réduire la valeur des propriétés dans les stations (Butsic et coll., 2011).

6.5.3.6 Agriculture

Contrairement à d'autres secteurs sensibles au climat, la plupart des documents disponibles résumés dans l'annexe 6.1 suggèrent que les conséquences économiques des changements climatiques sur l'agriculture au Canada pourraient être positives et potentiellement importantes, et ce, même d'ici les années 2080 et en particulier pour les provinces des Prairies. Par exemple, les augmentations estimées de la valeur des terres agricoles d'ici les années 2050 dans les Prairies résultant des changements climatiques atteignent jusqu'à +40 % (Amiraslany, 2010). Une petite région du Sud-Est de l'Alberta fait exception, car on y prévoit une diminution de la valeur des terres agricoles au cours du siècle. En dollars, les augmentations prévues de la valeur des terres agricoles dans les Prairies d'ici les années 2050 pourraient représenter un peu moins de 25 % de la valeur du PIB agricole en 2011 (Amiraslany, 2010). Ces avantages ont été estimés à partir de modèles ricardiens de la valeur des terres agricoles et doivent donc être considérés comme optimistes. On suppose que les relations établies par ces modèles statistiques sont valables au-delà de l'éventail des données empiriques probantes dont elles sont issues. Or, cela pourrait ne pas être le cas, surtout vers la fin du siècle. En outre, les relations estimées tiennent compte des adaptations autonomes dans le passé, opérées par les agriculteurs. Toutefois, les agriculteurs pourraient être confrontés à de nouveaux obstacles entravant le recours à des mesures privées à l'avenir (voir la section 6.8.1), ce qui réduirait l'efficacité de l'adaptation autonome. Aucune des études agricoles dans l'annexe 6.1 ne tient compte de l'impact des changements

climatiques et des phénomènes météorologiques extrêmes sur la production agricole et la valeur des terres, ni de celui des changements dans les dommages causés par les ravageurs ou du moment des précipitations.

Les études utilisant des modèles IEG tenant compte des flux des échanges commerciaux interprovinciaux et internationaux ont produit des valeurs différentes et plus conservatrices. Une étude a indiqué que les impacts des changements climatiques sur les cultures agricoles augmenteraient le PIB au Canada jusqu'en 2050 (Ochuodho et Lantz, 2015), tandis qu'une autre étude qui a tenu compte des impacts sur le bétail et les aliments transformés, en plus des impacts sur les cultures, a estimé que le PIB au Canada diminuerait légèrement d'ici les années 2080 (Zhai et coll., 2009). Ce dernier résultat est principalement dû à une forte baisse de la production de bétail. À l'aide d'un modèle mondial multisectoriel, l'OCDE (2015) a également prévu une baisse du PIB due aux impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Canada d'ici 2060.

Une étude (Ochuodho et Lantz, 2015) qui a généré des résultats régionaux pour le Canada à l'aide d'un modèle IEG a constaté que les gains de PIB les plus importants, exprimés en pourcentage d'augmentation du PIB, se situaient principalement dans les provinces des Prairies. Il est intéressant de noter que les augmentations du PIB dues aux changements climatiques ne se traduisent pas par des changements proportionnels au bien-être des consommateurs et n'entraînent pas nécessairement une augmentation de celui-ci. Les changements de prix, la substitution des intrants et les dynamiques des échanges commerciaux peuvent entraîner des pertes de bien-être pour les consommateurs, malgré une augmentation du PIB. Par exemple, la valeur cumulative actuelle du PIB au Manitoba sur 45 ans devrait augmenter de 1,3 %, tandis que le bien-être économique devrait diminuer de 0,1 % au cours de la même période. Pour les mêmes raisons, tout en augmentant la richesse des agriculteurs, les impacts avantageux des changements climatiques estimés par les modèles ricardiens ne se traduisent pas nécessairement par une amélioration du bien-être des consommateurs..

6.5.4 Évaluation des coûts municipaux

Des projections des conséquences économiques des changements climatiques ont également été réalisées pour certaines villes au Canada. L'annexe 6.2 fournit un résumé des principales études propres à certaines villes, dont la portée, les méthodes, les scénarios d'émissions, les hypothèses socio-économiques, les horizons temporels envisagés et les mesures de l'impact économique varient considérablement, ce qui rend toute comparaison difficile. Il est également difficile de tirer des conclusions assurées en raison du faible nombre d'études. Néanmoins, les premières observations tirées des données probantes disponibles suggèrent que les conséquences économiques nettes des changements climatiques pour les villes devraient être négatives.

Il ressort également des études dans l'annexe 6.2 que la portée de l'analyse (c.-à-d. le nombre de dangers liés aux changements climatiques, d'impacts biophysiques et d'expositions pris en compte, et si les impacts économiques comprennent à la fois les impacts directs et indirects, ainsi que les impacts liés au marché et non liés au marché) est un déterminant important de l'ampleur des coûts prévus. Par exemple, les impacts non liés au marché représentaient 23 à 42 % du coût total des inondations dues aux changements climatiques à Fredericton (Lantz et coll., 2012). L'omission des impacts non liés au marché dans ces analyses entraînerait une sous-estimation importante des coûts liés aux changements climatiques prévus. La portée

de l'analyse de la Ville d'Edmonton (voir l'étude de cas 6.3) était plus approfondie que celle des autres études municipales et comprenait beaucoup plus d'impacts liés aux changements climatiques (17 impacts à déclenchement rapide ainsi que des changements dans les degrés-jours de chauffage et de climatisation) sur un inventaire plus large de bâtiments, de biens, d'infrastructures et de services exposés, ainsi que des impacts économiques non liés au marché sur la santé humaine et l'environnement naturel. Cette portée plus étendue comprend également les impacts directs et indirects, ce qui explique pourquoi les coûts prévus liés aux changements climatiques par l'étude sont relativement élevés : les coûts annuels prévus pour le PIB sont de 1,6 milliard de dollars en 2055 et de 3,5 milliards de dollars en 2085 (tous deux en dollars de 2016), ce qui équivaut à 1,6 % et à 1,9 %, respectivement, du PIB prévu pour la ville.

Toutes les études ont utilisé des approches de modélisation ascendantes, basées sur les processus. Les études de la Ville d'Edmonton, de la Ville de Halifax et de la Ville de Mississauga ont également adopté de bonnes pratiques, en déterminant les pertes différentielles attribuables aux changements climatiques avec et sans développement socio-économique par rapport à aujourd'hui. Cela permet une analyse de la manière dont le développement socio-économique en relation avec les changements climatiques contribue aux coûts économiques prévus, ainsi qu'une analyse qui isole la portion attribuable aux seuls changements climatiques. Conformément aux observations des études régionales multisectorielles examinées à la section 6.5.3, la croissance du stock « à risque » vis-à-vis des changements climatiques et la hausse de la valeur de ce stock peuvent constituer un déterminant des coûts économiques futurs aussi important que les changements climatiques eux-mêmes (voir l'étude de cas 6.3).

Étude de cas 6.3 : Évaluation par la Ville d'Edmonton des coûts nets engendrés par les changements climatiques

En 2016, la Ville d'Edmonton a entamé un processus d'enquête pour mieux comprendre l'évolution historique du climat local et la façon dont il pourrait évoluer à l'avenir. Dans le cadre de ce processus, une évaluation multisectorielle de la vulnérabilité et des risques (EVR) liés aux changements climatiques, menée par les intervenants, a été réalisée afin de mesurer les risques et les occasions potentiels résultant de ces changements. Cette démarche a notamment consisté à quantifier les coûts sociaux et les coûts du PIB liés aux changements climatiques pour Edmonton afin de renforcer l'analyse de rentabilisation en vue d'agir. La portée de l'EVR et de l'analyse économique (Boyd, 2018) était large et comprenait l'adoption d'une approche à l'échelle de la collectivité, ainsi que la prise en compte des impacts biophysiques liés aux changements climatiques sur 17 domaines de services d'actifs (p. ex. la santé de la population, les infrastructures essentielles, les routes, les zones naturelles aménagées, la forêt urbaine, les bâtiments). Les impacts et les coûts attribuables à 19 dangers liés aux changements climatiques ont été évalués, y compris une série de phénomènes extrêmes (p. ex. chaleur extrême, pluie verglaçante, vents violents, fortes précipitations) et de changements à évolution lente (p. ex. moment de la période sans gel, degrés-jours de chauffage). Pour chaque phénomène extrême pris en considération, les impacts ont été quantifiés pour un niveau d'intensité déterminé (p. ex. des vitesses de vent supérieures ou égales à 90 km par heure). Les séquences d'impact suivantes ont été incluses dans l'analyse :

- dommages physiques directs ou perte d'infrastructures, de bâtiments et d'installations publics et privés (p. ex. coûts de réparation et de remplacement des structures, des équipements, du contenu et des inventaires);
- résultats directs sur la santé physique et mentale, la morbidité et la mortalité (p. ex. pertes de bien-être);
- dommages physiques directs aux sites naturels aménagés et aux arbres urbains, ou perte de ceux-ci (p. ex. coûts de restauration et de remplacement);
- pertes de services dues aux dommages causés aux arbres urbains ou à leur disparition (p. ex. perte de valeur écologique non liée au marché);
- pertes de services dues à la dégradation des écosystèmes aquatiques et terrestres (p. ex. perte de valeur écologique non liée au marché);
- pertes de services de transport routier (p. ex. valeur totale perdue du nombre de kilomètres parcourus par les voyageurs et du nombre de kilomètres parcourus par les véhicules de transport de marchandises);
- pertes de service dans les immeubles résidentiels (p. ex. frais de réinstallation);
- pertes de services dues aux dommages causés aux bâtiments publics, commerciaux et industriels (p. ex. frais de réinstallation, valeur de la production perdue).

Les coûts prévus des changements climatiques pour la Ville d'Edmonton ont été estimés en quatre étapes :

1. Les coûts et les impacts biophysiques ont été évalués pour l'exposition de l'inventaire 2018 de tous les « actifs/services » d'Edmonton aux conditions climatiques moyennes de la normale climatique de 1981 à 2010. Cela permet d'obtenir une mesure de référence des coûts en 2018.
2. Pour tenir compte du développement socio-économique futur, chaque composante de l'inventaire des actifs/services de 2018 a été projetée jusqu'en 2100, en utilisant une combinaison d'études de croissance existantes pour Edmonton et de relations estimées à partir de données historiques. Les données pertinentes d'évaluation du marché et non liées au marché ont également été projetées jusqu'en 2100. L'inventaire et la valeur futurs projetés de tous les « actifs/services » ont ensuite été réexposés aux conditions climatiques moyennes de la normale climatique de 1981 à 2010. Les coûts annuels différentiels attribuables au développement socio-économique en l'absence de nouveaux changements climatiques (et en supposant qu'aucune adaptation supplémentaire n'est planifiée) ont été estimés à environ 3,1 milliards de dollars d'ici les années 2050 et à 8,5 milliards de dollars d'ici les années 2080 (voir la figure 6.7a). Ces projections de coûts reflètent le flux non actualisé des coûts (en dollars constants de 2016) attribuables aux impacts liés aux changements climatiques sur Edmonton au cours d'une année moyenne, centrée sur chaque période (2041–2070 et 2071–2100).
3. L'inventaire et la valeur projetés de tous les « actifs/services » sont exposés aux conditions climatiques prévues dans le cadre du RCP8.5 pour les années 2050 et 2080 (en supposant qu'aucune adaptation supplémentaire n'est planifiée). Pour les phénomènes extrêmes compris dans cette portée, seules les modifications de leur probabilité annuelle d'occurrence ont été

modélisées, tandis que l'intensité du phénomène est restée constante. Les coûts annuels différentiels attribuables aux changements climatiques et au développement socio-économique ont été estimés à environ 7,8 milliards de dollars d'ici les années 2050 et à 19,1 milliards de dollars d'ici les années 2080.

4. Le coût différentiel ou imposé des changements climatiques projetés sur un Edmonton futur a été estimé en examinant la différence entre les résultats de l'étape 3 et de l'étape 2. D'ici les années 2050 et 2080, les coûts annuels imposés par les changements climatiques à une future ville d'Edmonton concurrente devraient s'élever à environ 4,7 et 10,3 milliards de dollars, respectivement.

Des tableaux d'entrées-sorties provinciaux ont été utilisés en combinaison avec des données sur l'emploi et la production pour Edmonton afin de générer des multiplicateurs du PIB, du revenu du travail, de l'emploi et de la production à l'échelle de la ville. Ces multiplicateurs ont ensuite été appliqués aux pertes de production prévues (c.-à-d. aux composantes commerciales des coûts présentés à la figure 6.7a) afin d'estimer le coût annuel total direct, indirect et induit par les changements climatiques sur le PIB d'Edmonton. Le coût du PIB de la Ville d'Edmonton imposé par les changements climatiques est d'environ 1,6 milliard de dollars par an d'ici les années 2050, et passera à environ 3,5 milliards de dollars par an d'ici les années 2080 (voir la figure 6.7b).

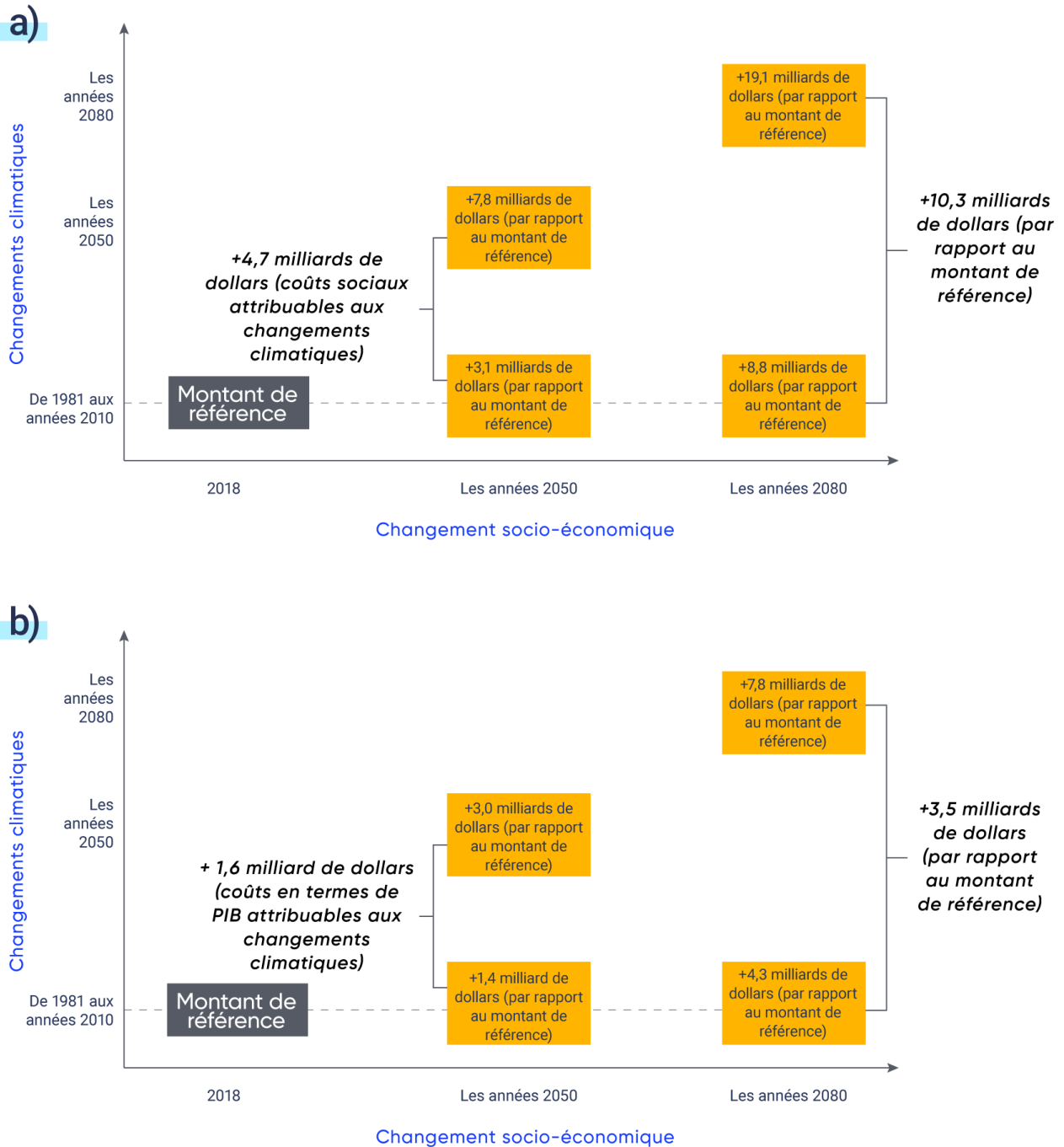
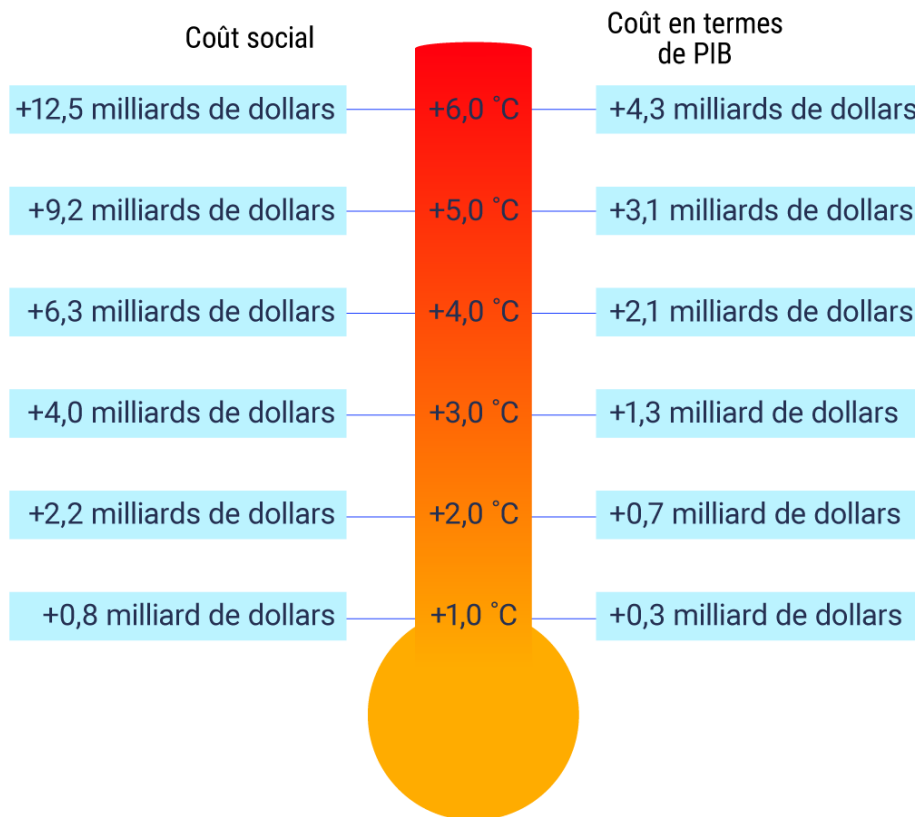


Figure 6.7 : a) Coûts sociaux annuels prévus et b) coûts du produit intérieur brut (PIB) pour la Ville d'Edmonton attribuables aux changements climatiques d'ici les années 2050 et 2080. Source : Adapté de Boyd, 2018.

Les fonctions de dommages qui sous-tendent les résultats présentés à la figure 6.7 ont été utilisées pour présenter les conséquences économiques croissantes des changements climatiques prévus pour la Ville d'Edmonton, en fonction de l'augmentation de la température annuelle moyenne au-dessus de la normale climatique de 1981 à 2010 (voir la figure 6.8).



Variation du coût en fonction de l'augmentation de la température annuelle moyenne par rapport à la moyenne de 1981 à 2010

Figure 6.8 : Coûts annuels sociaux et du produit intérieur brut (PIB) prévus pour la Ville d'Edmonton, attribuables à différents niveaux de changements climatiques au-dessus de la normale climatique de 1981 à 2010.

Source : Adapté de Boyd, 2018.

6.6 Outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie pour l'évaluation des options d'adaptation

Les sciences économiques offrent une gamme d'outils pour aider les décideurs à évaluer les mesures d'adaptation, à comprendre les compromis et à générer des informations sur les coûts et les avantages des différentes options. L'outil économique à privilégier dépend des critères de décision en matière d'adaptation, de la nature des impacts des changements climatiques et du niveau d'incertitude.

Bien qu'il n'existe pas d'approche uniforme, l'économie offre une gamme d'outils qui peuvent aider les décideurs à évaluer les options d'adaptation : chaque outil a ses forces et ses faiblesses en fonction du contexte de la décision en matière d'adaptation. Pour évaluer les mesures d'adaptation, il faut prendre en compte toute une série de facteurs, ainsi que les coûts et avantages financiers quantifiables. Cela inclut les impacts non monétaires et non liés au marché, les impacts positifs et négatifs connexes, les obstacles à la mise en œuvre, l'équité et, aspect important, l'incertitude. Il existe des méthodes permettant de saisir les impacts sur la répartition, les enjeux d'équité intergénérationnelle et les impacts non liés au marché dans les outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie comme l'analyse coûts-avantages (ACA). Il existe également une série de nouvelles approches qui fonctionnent avec des outils traditionnels comme l'ACA, mais qui sont plus à même de soutenir la prise de décisions en cas d'incertitude profonde, et d'incorporer le découpage temporel des mesures et des évaluations multimétriques, telles que les voies d'adaptation et la prise de décisions solides. Lorsque les outils économiques choisis ne tiennent pas compte de cet éventail de facteurs, la prise de décisions peut être biaisée au détriment des populations vulnérables, des groupes défavorisés, des générations futures, mais aussi des mesures « douces » qui ont moins de coûts, d'avantages et d'impacts non liés au marché quantifiables.

6.6.1 Introduction

Outre la recherche de données probantes sur les conséquences économiques des changements climatiques, les décideurs demandent de plus en plus d'informations sur les coûts, les avantages et les principaux compromis des mesures à prendre pour soutenir leurs décisions en matière d'adaptation. Cette section présente un examen des outils d'analyse économique pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation et fournira le contexte de la section suivante, qui examine l'application de ces outils au Canada. Avant d'examiner les outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie, des critères d'évaluation communs sont présentés pour mettre en évidence les compromis que les décideurs envisagent souvent lorsqu'ils prennent des décisions en matière d'adaptation.

6.6.2 Critères de décision

Les décideurs apportent des objectifs, des intérêts, des connaissances et des valeurs divers aux décisions relatives à l'adaptation aux changements climatiques. Il en résulte un large éventail de critères de décision à prendre en compte pour évaluer les différentes possibilités d'action. La littérature contient de nombreux critères de décision et regroupements de ces critères pour soutenir l'évaluation des mesures d'adaptation et leur mise en œuvre (p. ex. Rouillard et coll., 2016b; Weiland et Tröltzsch, 2015; PROVIA, 2013; Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2011). Ces examens concluent que l'évaluation des mesures d'adaptation devrait idéalement saisir les compromis entre tous les résultats pertinents (avantages) et tous les apports pertinents (coûts) nécessaires pour obtenir ces résultats. Deux autres considérations importantes concernent l'incertitude entourant les résultats escomptés et la facilité avec laquelle une mesure d'adaptation peut être mise en œuvre avec succès, ce qui aura également une incidence sur les coûts. Sur la base de ces examens, les principaux critères de décision généralement utilisés pour évaluer le mérite relatif des investissements dans les mesures d'adaptation sont décrits dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3 : Description des principaux critères de décision couramment utilisés pour évaluer les mesures d'adaptation

	INTRANTS	OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Coûts	Coût total du cycle de vie Les coûts totaux de la mesure d'adaptation, y compris les éléments suivants, le cas échéant : coûts d'investissement initiaux (capital), coûts annuels récurrents (fonctionnement et entretien), coûts de renouvellement et de réinvestissement, coûts de déclassement et coûts de transaction.	Réduire au minimum les coûts totaux du cycle de vie pour une production cible donnée.
	Impacts négatifs connexes Effets secondaires négatifs de la mesure d'adaptation pour d'autres objectifs économiques, sociaux ou environnementaux du décideur. On peut citer comme exemple l'augmentation des émissions de GES, l'augmentation des risques pour d'autres groupes ou secteurs qui ne sont pas la cible de l'option en question, ou la limitation des options d'adaptation futures.	Garder au minimum les impacts négatifs globaux connexes.



INTRANTS		OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Facilité de mise en œuvre	<p>Faisabilité</p> <p>La capacité du décideur de réussir à mettre en œuvre la mesure d'adaptation, dont l'accès aux connaissances, aux technologies, aux ressources humaines, au budget nécessaires, etc. (tous ces éléments qui pourraient constituer des obstacles à l'action). La faisabilité est également influencée par la présence de points d'entrée ou de fenêtres de possibilité pour mettre en œuvre l'option concernée.</p>	Donner la priorité aux mesures les plus réalisables.
	<p>Acceptabilité</p> <p>Le degré de soutien social, culturel, économique et politique de la mesure d'adaptation, tant de la part des personnes directement touchées (c.-à-d. les groupes qui en tirent avantage et assument les coûts) que du grand public.</p>	Donner la priorité aux mesures qui ont le plus de soutien et le moins d'opposition.
EXTRANTS		OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Avantages	<p>Efficacité</p> <p>La mesure dans laquelle la mesure d'adaptation atteint le ou les objectifs du décideur (p. ex. réduire les conséquences négatives anticipées d'une menace liée aux changements climatiques particulière, permettre la réalisation des conséquences avantageuses anticipées d'une possibilité liée aux changements climatiques).</p>	Maximiser l'efficacité par la conception du projet.

	EXTRANTS	OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Avantages (continué)	Pertinence L'importance de la menace ou de la possibilité liée aux changements climatiques visée par la mesure d'adaptation. Les menaces et les possibilités dont les conséquences sont « extrêmes » et dont il est « presque certain » qu'elles se concrétiseront auraient une pertinence élevée.	Donner la priorité aux mesures qui ciblent les menaces ou les possibilités les plus pertinentes.
	Retombées positives Effets secondaires positifs de la mesure d'adaptation pour d'autres objectifs économiques, sociaux ou environnementaux du décideur. On peut citer comme exemples la réduction des émissions de GES, les possibilités de loisirs, le maintien ou l'amélioration des services écosystémiques, les possibilités d'emploi, l'encouragement de l'innovation et la diminution des risques pour d'autres groupes ou secteurs qui ne sont pas la cible de l'option en cause.	Tenir compte des impacts positifs globaux connexes lors de la sélection parmi les options d'adaptation possibles.
	Équité Répartition équitable des coûts d'adaptation, des avantages et des impacts résiduels entre les groupes de la population et les générations. La mesure profite au plus grand nombre et au plus large éventail possible de personnes. L'équité englobe également la mesure dans laquelle les options réduisent les inégalités existantes (p. ex. envers les groupes ou les quartiers défavorisés).	Donner la priorité aux mesures équitables qui soutiennent les groupes défavorisés et à faible revenu, et qui s'attaquent aux inégalités existantes.

	EXTRANTS	OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Incertitude	<p>Urgence</p> <p>Désigne le délai dans lequel la mesure d'adaptation doit être mise en œuvre. Il serait plus urgent de s'attaquer aux menaces ou aux possibilités prioritaires qui se produisent dans les conditions climatiques actuelles que de prendre des mesures visant les menaces ou les possibilités qui ne sont attendues que dans les conditions climatiques futures prévues. Les adaptations qui ciblent les menaces et les possibilités futures et qui peuvent avoir un effet sur les décisions à court terme ayant une longue durée de vie, comme l'aménagement du territoire et les choix d'infrastructure en vigueur, devraient également être traitées avec plus d'urgence.</p>	<p>Donner la priorité aux mesures qui traitent des risques liés aux conditions climatiques actuelles ou qui intègrent les considérations d'adaptation dans les décisions à court terme et de longue durée.</p>
	<p>Robustesse statique</p> <p>Le degré d'efficacité d'une mesure pour réaliser les objectifs du décideur, sur une gamme de scénarios d'émissions et de scénarios socio-économiques plausibles. Ce critère est le plus pertinent pour les décisions à court terme et de longue durée.</p>	<p>Donner la priorité aux mesures qui réduisent la vulnérabilité à l'éventail le plus large possible de conditions climatiques et socio-économiques futures.</p>
	<p>Robustesse dynamique (flexibilité)</p> <p>Des mesures ajustables qui peuvent être mises en œuvre graduellement et adaptées facilement si les conditions climatiques et socio-économiques futures changent ou se révèlent différentes de ce qui est prévu aujourd'hui. Ce critère est également particulièrement pertinent pour les décisions à court terme qui ont une longue durée de vie.</p>	<p>Donner la priorité aux mesures qui sont facilement adaptables aux conditions climatiques et socio-économiques changeantes et dont les coûts de transition sont minimales.</p>

Source : Weiland and Tröltzsch, 2015; PROVIA, 2013

6.6.3 Outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie

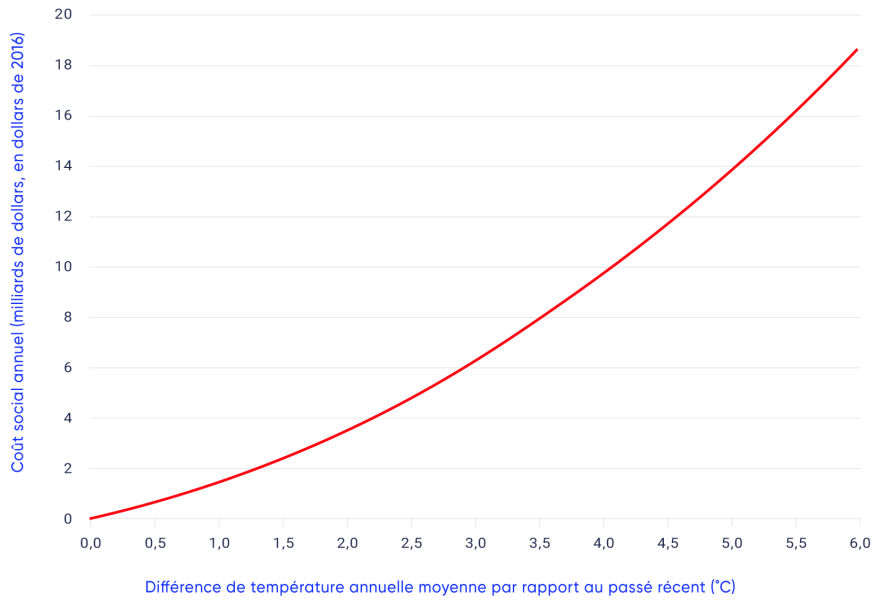
Il existe de multiples méthodes pour évaluer les mesures d'adaptation. La technique analytique standard utilisée pour l'évaluation économique des politiques, programmes et projets est l'ACA (voir la figure 6.9). L'ACA est une méthode d'évaluation économique appropriée lorsque l'objectif de l'adaptation est de réduire au minimum les coûts économiques d'une menace liée aux changements climatiques ou d'optimiser les avantages économiques d'une possibilité liée aux changements climatiques. Dans certains contextes décisionnels, cependant, l'objectif d'adaptation pourrait être d'atteindre un niveau donné de réduction des risques ou de neutraliser tous les impacts négatifs liés aux changements climatiques (c.-à-d. de maintenir les conditions de la période de référence) (Chambwera et coll., 2014). Dans ce contexte, l'autre grande méthode d'évaluation économique, l'ACE, pourrait être utilisée pour déterminer la mesure ou le portefeuille de mesures nécessaires pour atteindre cet objectif au moindre coût ou au plus haut niveau de réduction des risques pour un budget fixe d'investissement.

Une troisième méthode traditionnelle qui peut être utilisée pour évaluer les mesures d'adaptation est l'analyse décisionnelle multicritères. Bien qu'il ne s'agisse pas techniquement d'un outil d'évaluation économique, il peut intégrer des informations financières sur les coûts et les avantages dans le calcul de la décision, parallèlement à une série d'autres critères de décision. Un décideur peut vouloir utiliser l'analyse décisionnelle multicritères lorsque l'efficacité économique n'est pas le seul critère de décision intéressant ou lorsque d'importants intrants ou résultats de la mesure d'adaptation ne peuvent être évalués en termes de coûts. Compte tenu des multiples critères désormais pris en compte lors de la prise de décisions en matière d'adaptation, l'accent est de plus en plus mis sur de tels outils d'évaluation « multi-métriques » à l'appui des décisions à prendre (voir le tableau 6.4; Chambwera et coll., 2014)⁴. Toutefois, dans la littérature disponible, seule l'ACA a été appliquée au Canada (voir la section 6.7).

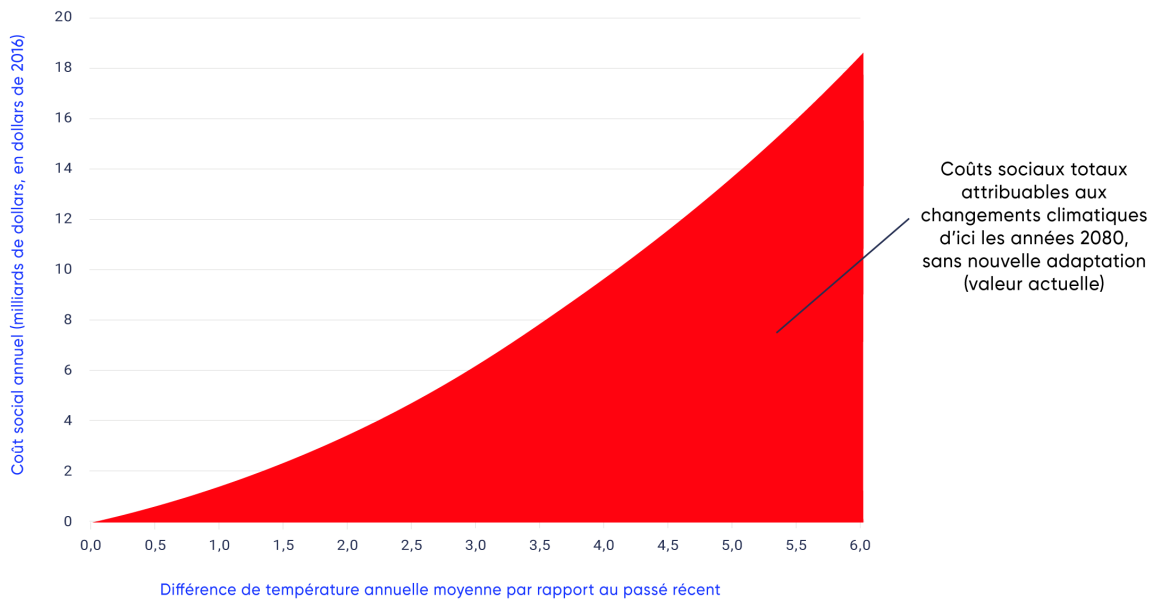
4 Les lecteurs intéressés peuvent accéder à plusieurs lignes directrices axées sur l'évaluation économique des mesures d'adaptation, telles que celles de la Banque asiatique de développement (2015); Meyer et al. (2015); Boyd et al. (2013); PROVIA (2013); USAID (2013); Economics of Climate Adaptation (2009) et Metroeconomica (2004). D'autres ressources fournissent des conseils particuliers pour aider au choix des méthodes d'évaluation économique (p. ex. Tröltzsch et al., 2016; Watkiss et al., 2015a Swart et Singh, 2013 et Watkiss et Hunt, 2013).



a)



b)



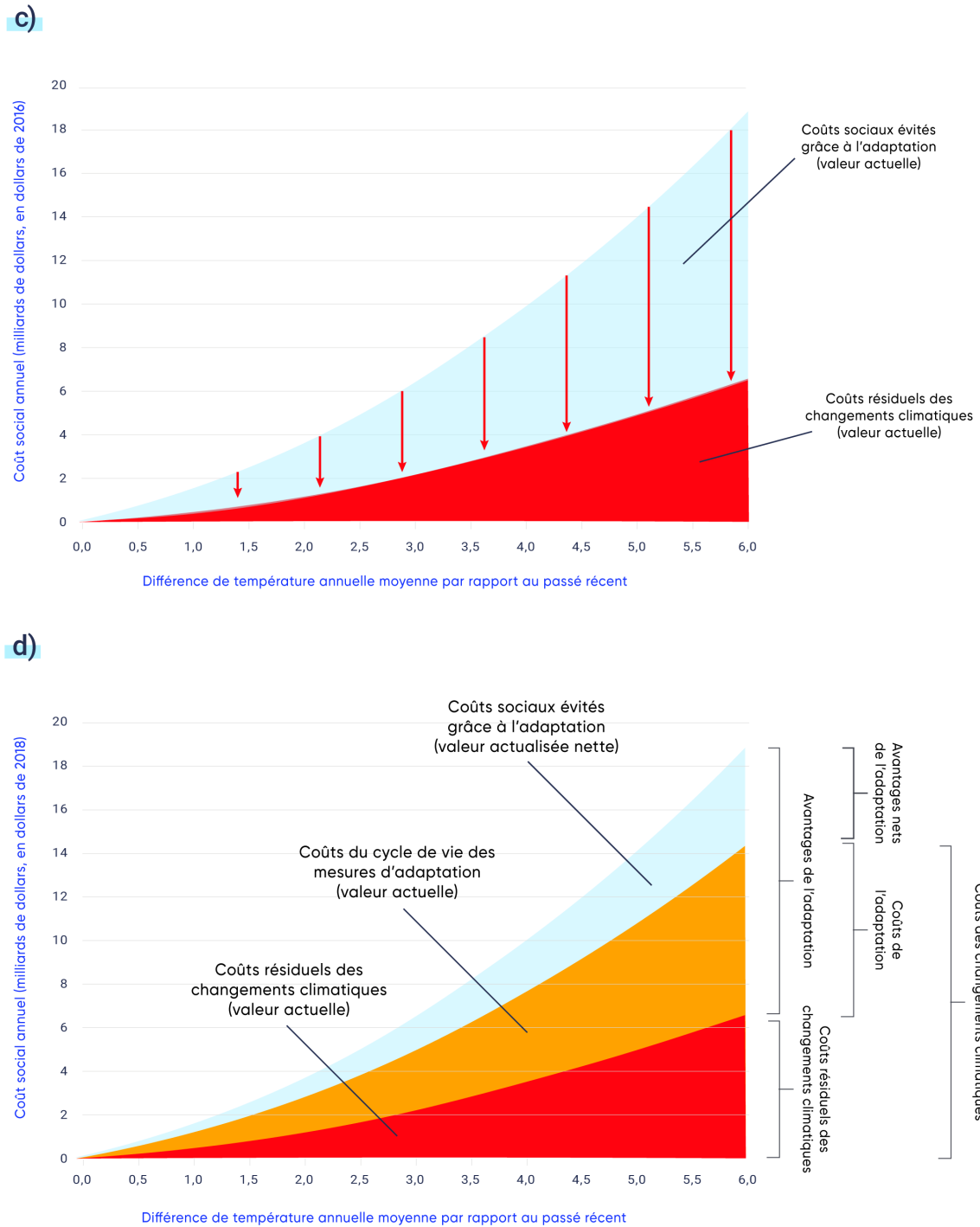


Figure 6.9 : Cette représentation stylisée des avantages, des coûts et des dommages résiduels de l'adaptation en valeur actualisée (en dollars de 2016) suppose que les objectifs des décideurs sont les suivants : réduire les impacts négatifs et réduire au minimum le coût total des changements climatiques. a) Scénario de référence prévu (fonction de dommages estimée avec les changements climatiques); b) Coûts sociaux estimés en valeur actualisée des changements climatiques dans le cadre du scénario de référence sans nouvelles mesures d'adaptation; c) Réduction estimée des coûts sociaux prévus avec de nouvelles mesures d'adaptation (c.-à-d. qu'elle définit les avantages en valeur actualisée de l'adaptation); d) Avantages nets estimés des mesures d'adaptation, une fois les coûts du cycle de vie des mesures pris en compte. Source : Adapté de Metroeconomica, 2004, et basé sur la fonction de dommages du coût social pour la Ville d'Edmonton dans Boyd, 2018.

Tableau 6.4 : Méthodes d'évaluation économique couramment utilisées à l'appui des décisions en matière d'adaptation

OUTIL	RÉSUMÉ	INCERTITUDE	MESURE DES AVANTAGES	COMPLEXITÉ
Analyse coûts-avantages (ACA)	Cette méthode évalue les options en fonction de leur valeur monétaire, en soupesant les coûts du cycle de vie des options par rapport aux avantages prévus (p. ex. Boyer-Villemare et coll., 2016). L'option dont la valeur actualisée nette ou le rapport avantages-coûts est le plus élevé est sélectionnée. L'ACA nécessite la mise en place d'une situation de référence par rapport à laquelle les coûts et les avantages futurs anticipés seront mesurés. Cela représente un défi, car il faut prévoir le comportement d'adaptation autonome des individus et des organisations en l'absence de l'option en question.	Ne traite pas explicitement des incertitudes, mais peut être combiné avec des informations probabilistes pour générer des valeurs attendues.	Données économiques (dollars)	Moyenne

OUTIL	RÉSUMÉ	INCERTITUDE	MESURE DES AVANTAGES	COMPLEXITÉ
Analyse coût-efficacité (ACE)	<p>Cette méthode permet de déterminer l'option la plus efficace d'un point de vue économique pour atteindre un objectif d'adaptation particulier (p. ex. Boyd et Walton, 2006) : par exemple, savoir laquelle de plusieurs options atténue le risque de pénurie d'eau au coût le plus bas, ou quelle proportion du risque peut être atténuée pour une dépense donnée. L'ACE est utile lorsque la principale mesure des avantages ne peut être exprimée en valeur monétaire. Cependant, comme elle ne peut être utilisée que pour comparer les options en fonction d'une seule mesure des avantages (p. ex. des mètres cubes d'eau), il n'est généralement pas possible d'évaluer les options qui traitent des impacts dans différents secteurs qui n'ont pas une mesure commune des avantages. Tout comme l'ACA, cette méthode nécessite la mise en place d'une situation de référence. Contrairement à l'ACA, elle ne peut pas déterminer si une option « vaut la peine d'être mise en œuvre ». Le principe de base de l'application de l'ACE est qu'une décision a déjà été prise et que le résultat à atteindre a déjà été justifié comme « méritant » d'être poursuivi.</p>	<p>Ne traite pas explicitement des incertitudes, mais peut être combiné avec des informations probabilistes pour générer des valeurs attendues.</p>	<p>Données quantitatives</p>	<p>Moyenne</p>

OUTIL	RÉSUMÉ	INCERTITUDE	MESURE DES AVANTAGES	COMPLEXITÉ
Analyse décisionnelle multicritères	Cette méthode utilise plusieurs indicateurs, en plus de l'efficacité économique, pour évaluer les options d'adaptation en fonction de la réalisation d'objectifs d'adaptation déterminés (p. ex. de Bruin et coll., 2009b). L'analyse décisionnelle multicritères est utile lorsqu'il est difficile d'attribuer des valeurs monétaires à un ou plusieurs résultats importants, ou lorsqu'il est tout simplement impossible de quantifier certains résultats, car les informations qualitatives et quantitatives peuvent être combinées. Tout comme l'ACA, cette méthode nécessite la mise en place d'une situation de référence.	Peut intégrer l'incertitude comme critère d'évaluation, en s'appuyant généralement sur le jugement subjectif des experts ou des intervenants.	Économique, quantitative ou qualitative	Faible à moyenne

Sources : Rouillard et coll., 2016a; Watkiss et coll., 2015a; Boyd et coll., 2013; PROVIA, 2013; Watkiss et Hunt, 2013.

6.6.4 Principaux défis méthodologiques

Les principaux défis méthodologiques liés à l'évaluation économique des mesures d'adaptation comprennent la manière de traiter l'incertitude dans l'évaluation économique, les choix d'actualisation et les considérations relatives à la répartition. En raison de ces défis, les auteurs se montrent sceptiques quant au fait de s'appuyer principalement sur les outils d'évaluation économique traditionnels pour classer les mesures d'adaptation (p. ex. Dennig, 2018; Lempert, 2014; Li et al, 2014).

6.6.4.1 Traitement de l'incertitude profonde

Lors de l'évaluation des mesures d'adaptation, les incertitudes liées aux changements climatiques proviennent à la fois de la modélisation climatique et des aspects socio-économiques (voir la figure 6.10). Ces éléments s'ajoutent aux incertitudes habituelles concernant les coûts et l'efficacité des mesures, qui sont présentes dans toutes les évaluations économiques. Le point de départ est l'évolution inconnue des futures émissions de GES, qui alimentent les projections climatiques par des modèles climatiques. La spécification

des relations entre les émissions prévues et les changements prévus dans le climat mondial est sujette à l'incertitude, et les différents modèles résolvent cette question de différentes manières. La plupart des modèles fournissent des projections à une échelle trop large pour servir à évaluer les mesures au niveau local, où l'adaptation a généralement lieu. Une certaine réduction d'échelle doit être effectuée, ce qui engendre des incertitudes supplémentaires. En outre, l'incertitude découle des scénarios socio-économiques, qui fournissent une gamme d'estimations pour les populations à risque dans différents endroits, et tiennent également compte du statut socio-économique et de la richesse. Ces scénarios sont liés aux émissions de GES, car ces dernières influenceront en partie les niveaux de vie futurs, et aussi parce que les différentes voies de développement influenceront la quantité d'émissions de GES. Ces éléments sont cependant hautement incertains, en particulier sur les périodes de temps que la plupart des analyses doivent prendre en compte. Enfin, il existe des incertitudes quant à l'efficacité des différentes mesures d'adaptation. Bref, les incertitudes s'accumulent tout au long de la chaîne d'impacts, allant des émissions de GES aux choix d'adaptation (voir la figure 6.2).

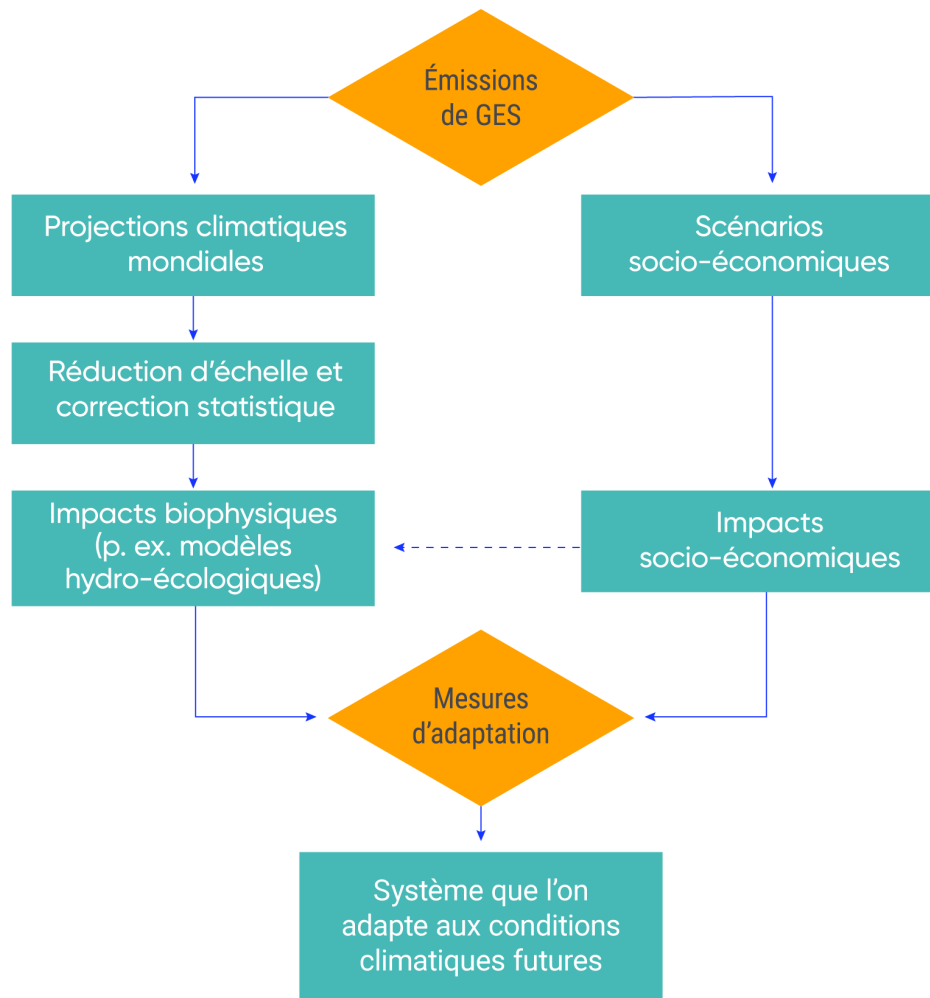


Figure 6.10 : Les éléments structurels impliqués dans l'évaluation des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ces changements. Source : Adapté de Markandya et coll., 2014.

Si l'éventail des résultats possibles peut être représenté par une distribution de probabilité, on peut calculer une valeur attendue. Une « valeur de risque » ou « prime » peut également être calculée, notamment une composante permettant de tenir compte de l'existence d'une gamme de résultats possibles. Les méthodes à cet effet sont bien établies (p. ex. Ranger et coll., 2010). Le problème est que ces distributions de probabilité sont rarement disponibles et qu'il est souvent impossible de calculer la valeur de risque. Lorsque les probabilités ne sont pas disponibles, la pratique traditionnelle est d'entreprendre une analyse de sensibilité, qui consiste à utiliser différents scénarios pour identifier la robustesse de la mesure d'adaptation choisie par rapport aux incertitudes dominantes.

Si bon nombre des incertitudes décrites ci-dessus sont réductibles, il y a peu de chance qu'elles soient résolues dans un délai utile pour des décisions précoces en matière d'adaptation (Fankhauser, 2017). Par conséquent, les chercheurs ont mis au point un ensemble d'outils heuristiques (p. ex. Hallegatte et coll., 2012) et d'outils d'évaluation (p. ex. Bloemen et coll., 2018; Dittrich, et coll., 2016; Watkiss et coll., 2015a; Lempert, 2014; Walker et coll., 2013) pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation en présence d'une incertitude profonde (c.-à-d. une incertitude qui ne peut être quantifiée par des probabilités) (Weaver et coll., 2013). Les principales approches permettant de prendre en compte l'incertitude dans l'évaluation économique des mesures d'adaptation sont l'analyse des options réelles, les voies d'adaptation, la prise de décisions solides et l'analyse de portefeuille. Voir le tableau 6.5 pour une brève description de chaque outil, la manière dont chacun traite l'incertitude et mesure les avantages, les demandes en ressources imposées aux utilisateurs et un exemple d'application.

Tableau 6.5 : Méthodes d'évaluation économique pour l'aide à la prise de décisions en matière d'adaptation en situation d'incertitude

DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Prise de décisions solides				
<p>Utilise des modèles quantitatifs ou des générateurs de scénarios pour évaluer comment différentes options d'adaptation se comportent dans le cadre de grands ensembles de scénarios, chacun reflétant différentes conditions futures plausibles (à la fois climatiques et socio-économiques). L'objectif est de dégager des options qui sont solides pour de nombreux futurs différents (c.-à-d. des options qui ne sont pas nécessairement « optimales », mais « suffisamment bonnes » et qui réduisent au minimum les résultats négatifs).</p> <p>Cet outil est utile lorsque les incertitudes futures sont mal caractérisées et que les informations probabilistes ne sont pas disponibles.</p>	<p>Intègre explicitement les incertitudes et les risques, en particulier les risques systémiques, afin de trouver des solutions robustes à de multiples conditions futures.</p>	<p>Quantitative ou économique</p>	<p>Moyenne à élevée</p>	<p>Lempert et coll., 2013; Dessai et Hulme, 2007</p>



DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Analyse de portefeuille				
Traditionnellement utilisé pour évaluer les compromis entre le rendement d'un investissement et le risque que représente cet investissement. Dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques, le compromis se situe entre la probabilité d'un haut degré d'efficacité dans la réduction d'une menace et le risque que les options envisagées ne soient pas efficaces dans certaines conditions futures. Cet outil permet d'identifier l'ensemble des options qui, collectivement, sont efficaces dans une gamme de conditions futures plausibles, par opposition à une option qui est optimale pour un seul avenir. Cette méthode est utile lorsqu'il existe de nombreuses options d'adaptation complémentaires pour atteindre un objectif et lorsque de bonnes données sont disponibles. Elle nécessite des informations probabilistes pour calculer la variance des rendements (valeurs actualisées nettes) sur le portefeuille d'options considéré.	Traite explicitement de l'incertitude en examinant la complémentarité d'un ensemble d'options d'adaptation pour faire face aux conditions futures.	Quantitative ou économique	Élevée	Hunt, 2009



DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Analyse des options réelles				
Utilisée pour évaluer explicitement le niveau de flexibilité dans le temps de mise en œuvre d'une ou de plusieurs options d'adaptation (c.-à-d. investir maintenant ou attendre). Elle est également utilisée pour évaluer la possibilité d'ajuster une option d'adaptation au fil du temps, une fois qu'elle a été mise en œuvre (p. ex. en permettant à une option de s'étendre ou d'être restreinte en réaction à des conditions changeantes ou à mesure que de nouvelles informations deviennent disponibles). De cette manière, l'outil révèle s'il est préférable d'investir dans des options qui offrent une plus grande flexibilité dans l'avenir. Elle est utile pour les décisions en matière d'adaptation impliquant des investissements importants, immédiats et irréversibles, lorsqu'il y a une certaine souplesse dans le choix du moment de l'investissement, la possibilité d'obtenir de nouvelles informations et la capacité d'ajuster l'option en fonction des connaissances acquises.	Traite explicitement de l'incertitude en analysant le rendement des options d'adaptation liées à différentes conditions futures potentielles.	Économique	Élevée	Jeuland et Whittington, 2013; van der Pol et coll., 2013; Woodward et coll., 2011

DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Voies d'adaptation				
Utilisé pour rendre opérationnel le critère de flexibilité en caractérisant les options d'adaptation selon : 1) les « points d'inflexion concernant l'adaptation » (c.-à-d. les points dans le temps au-delà desquels les options ne sont plus efficaces); et 2) les autres options d'adaptation disponibles lorsqu'un point d'inflexion a été atteint. Plutôt que de prendre une décision irréversible immédiatement afin de mettre en œuvre une option d'adaptation « optimale », qui peut être nécessaire ou non en fonction de l'évolution des conditions climatiques futures, cet outil encourage les décideurs à adopter un plan flexible, dans lequel les décisions en matière d'adaptation sont prises au fil du temps et le plan est ajusté au fur et à mesure que des informations pertinentes ressortent. Des options supplémentaires peuvent être avancées ou reportées à un moment ultérieur, en fonction des conditions futures. Le principal défi consiste à définir les « points d'inflexion » appropriés et les données à surveiller.	Traite explicitement de l'incertitude en favorisant l'analyse itérative, le suivi, l'évaluation, l'apprentissage et l'ajustement.	Quantitative ou économique	Moyenne à élevée	Voir l'étude de cas 6.4; Rosenzweig et Solecki, 2014; Haasnoot et coll., 2013; Ranger et coll., 2013.

Source : Rouillard et coll., 2016a; Scussolini et coll., 2015; Watkiss et coll., 2015a; Boyd et coll., 2013; PROVIA, 2013; Watkiss et Hunt, 2013.

La méthode d'évaluation la plus appropriée dépend du contexte décisionnel et du niveau d'incertitude (Chambwera et coll., 2014). Le choix d'un outil d'évaluation économique pourrait lui-même être considéré comme un problème décisionnel. Par exemple, dans les contextes décisionnels où l'incertitude est moins préoccupante (on connaît peut-être les probabilités pertinentes) et où les mesures d'adaptation sont à court terme (c.-à-d. des mesures à faible regret ou sans regret pour faire face aux risques liés aux changements

climatiques actuels), il peut être possible d'appliquer les méthodes traditionnelles d'ACA ou d'ACE. Cependant, lorsque les incertitudes sont plus profondes, et lorsqu'il s'agit de faire des choix parmi une série de mesures complémentaires pour atteindre le même objectif d'adaptation, l'analyse de portefeuille peut être utilisée pour aider les décideurs à évaluer les compromis entre les avantages et le risque d'une mesure, ce qui permet de formuler un portefeuille de mesures offrant le meilleur équilibre entre le risque et le rendement. Lorsqu'il est prévu que les incertitudes diminuent avec le temps et que les mesures individuelles ou une stratégie d'adaptation présentent un certain degré de flexibilité, les approches qui soutiennent la prise de décisions itératives seront plus appropriées (telles que l'analyse des options réelles et les voies d'adaptation). Ces approches encouragent les décideurs à élaborer des plans flexibles dans lesquels les décisions les plus efficaces en matière d'adaptation sont prises de manière séquentielle au fil du temps, au fur et à mesure de l'obtention de données probantes sur l'évolution des conditions futures. S'il y a peu de chances que les incertitudes soient résolues, c'est-à-dire si des décisions doivent être prises à court terme concernant des mesures d'adaptation à long terme, la prise de décisions solides fournira un soutien approprié, en aidant à recenser les mesures d'adaptation qui permettront d'atteindre les objectifs du décideur dans une série de scénarios différents.

Si les méthodes d'évaluation économique ci-dessus ont été présentées individuellement, elles ne s'excluent pas mutuellement. Tous les outils disponibles pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation dans des conditions d'incertitude fournissent essentiellement un cadre alternatif pour l'application de l'ACA, de l'ACE, de l'analyse décisionnelle multicritères ou d'une combinaison de celles-ci. C'est ce que démontre l'étude de cas 6.4, où l'ACA et l'analyse décisionnelle multicritères sont intégrées dans une approche des voies d'adaptation pour la gestion des inondations de la Tamise à Londres, au Royaume-Uni.

Étude de cas 6.4 : Gestion de l'incertitude dans l'évaluation des options d'adaptation pour faire face à l'élévation du niveau de la mer à Londres, au Royaume-Uni

La barrière de la Tamise est une structure mobile qui s'étend sur environ 500 mètres sur la Tamise, à l'est de Londres. Elle fait partie d'un système global de gestion des inondations, comprenant 36 vannes industrielles et plus de 330 km de digues et de remblais qui protègent Londres des ondes de tempête en provenance de la mer du Nord. La barrière a été conçue pour durer jusqu'en 2030 et pour assurer un niveau de protection élevé (équivalent à un événement survenant une fois tous les 1 000 ans). L'objectif du projet Thames Estuary 2100 (TE2100) était d'élaborer un plan stratégique de gestion des risques d'inondation pour Londres qui serait en place jusqu'à la fin du XXI^e siècle.

En raison de la profonde incertitude entourant les futurs niveaux d'eau extrêmes dans l'estuaire en raison des changements climatiques et de la nature à long terme des décisions impliquées, ainsi que des coûts irréversibles élevés, le projet TE2100 a utilisé une approche basée sur les voies d'adaptation. Cette méthode intègre la robustesse dynamique (flexibilité) aux incertitudes climatiques et non climatiques dans la stratégie d'adaptation elle-même, de sorte que la stratégie s'adapte au climat au fil du temps, mais en laissant les

mesures individuelles ouvertes pour faire face à toute la gamme des avenir plausibles. Quatre ensembles potentiels de mesures d'adaptation, appelés « options de haut niveau » (high-level option [HLO] 1, 2, 3a et 3b, et 4), ont été élaborés par le projet TE2100 (voir la figure 6.11). Chaque option HLO consiste en une trajectoire à travers le siècle qui peut être adaptée au taux de changement de l'élévation du niveau de la mer observée. Par exemple, une élévation du niveau de la mer de 20 à 30 cm nécessiterait, dans le cadre de l'option HLO1, d'améliorer et de rehausser les petits murs et les remblais sur la Tamise afin de prolonger leur vie utile. Si le niveau de la mer augmentait de 60 à 70 cm, la barrière existante serait tournée de façon excessive et une protection provisoire (mur élevé) en amont de la barrière serait restaurée. Toutefois, si le niveau de la mer augmentait de 80 à 90 cm, il faudrait améliorer la barrière existante et élever les défenses en aval. Dans l'ensemble, l'option HLO1 offre une protection jusqu'à environ 2,3 m d'élévation du niveau de la mer, ce qui correspond à la projection actuelle « la plus probable » de l'élévation du niveau de la mer ayant une incidence sur les niveaux d'eau extrêmes de la Tamise. La construction d'un nouveau barrage serait le point culminant de l'option HLO4, qui assurerait une protection contre la projection actuelle de l'élévation du niveau de la mer dans le « pire des cas » (4,3 m).

Il serait toutefois risqué de choisir une voie sur la base des projections disponibles aujourd'hui, car le choix actuel de la voie d'adaptation est extrêmement sensible aux projections de l'élévation moyenne du niveau de la mer et des ondes de tempête, qui demeurent très incertaines. Le risque de mauvaise adaptation serait élevé. Par conséquent, les options HLO sont conçues pour être flexibles et il est possible de passer d'une option HLO à un autre en fonction du taux d'élévation du niveau de la mer observé.

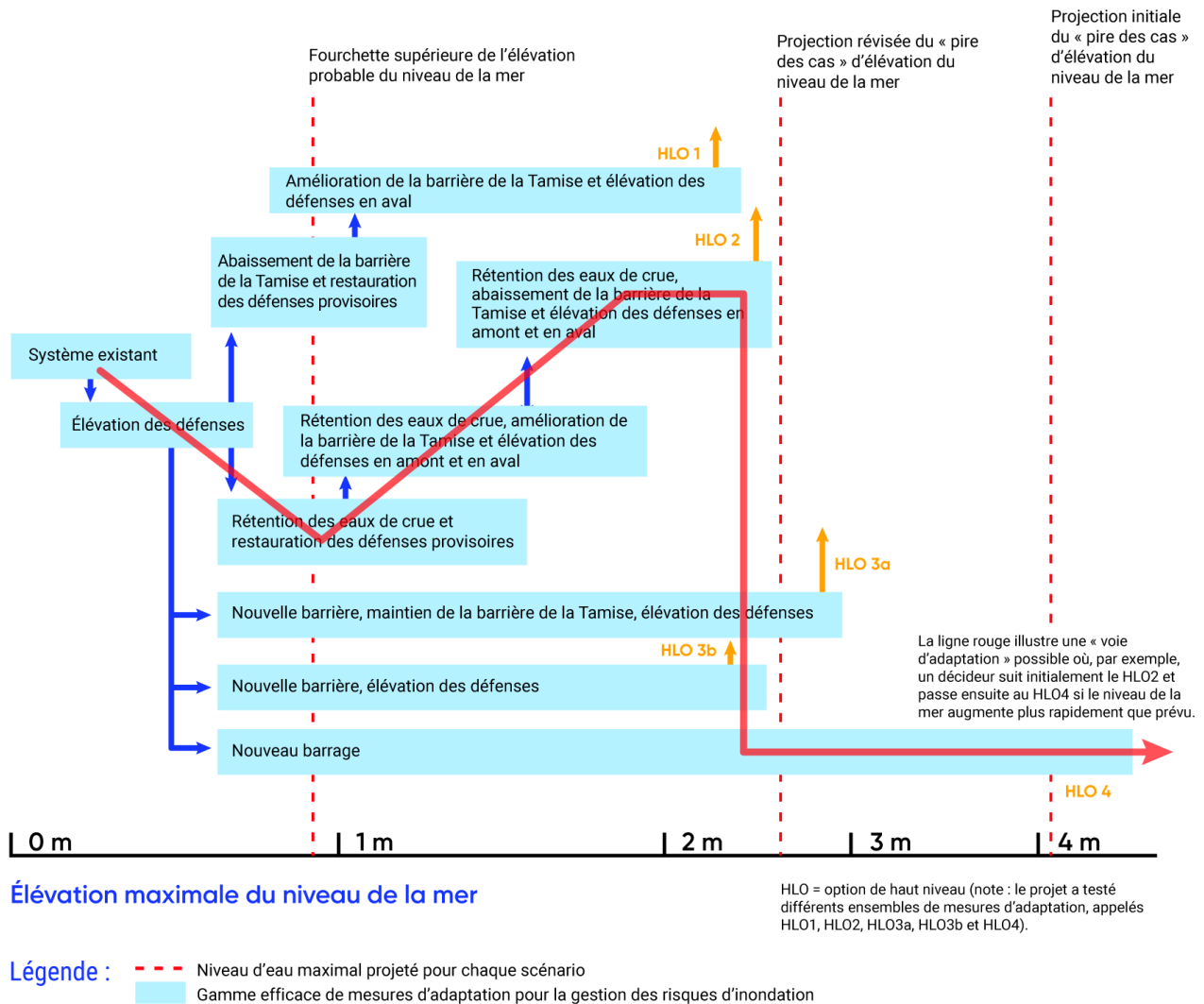


Figure 6.11 : Voies d'adaptation mises au point par le projet Thames Estuary 2100 au Royaume-Uni pour faire face à l'élévation future du niveau de la mer. Cela comprend quatre ensembles d'options en matière d'adaptation, appelés « options de haut niveau » (HLO), pour faire face à différentes élévations possibles du niveau de la mer. Source : Adapté de Ranger et al., 2013 avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH.

L'approche des voies d'adaptation repose essentiellement sur la nécessité de définir des « points de décision » avant qu'un impact des changements climatiques ne se produise (c.-à-d. de déterminer les moments futurs où les décideurs devront choisir une option de nature plus irréversible, ainsi que de définir les informations nécessaires pour éclairer cette décision). Pour chaque mesure d'adaptation, le projet TE2100 a évalué les éléments suivants (voir la figure 6.12) : le seuil clé à partir duquel cette mesure serait nécessaire (p. ex. des niveaux d'eau extrêmes), le délai nécessaire pour mettre en œuvre la mesure et le point de décision estimé pour déclencher une décision concernant la mise en œuvre (p. ex. en fonction de l'atteinte d'une valeur déterminée pour un des indicateurs, comme des niveaux d'eau extrêmes observés, tenant compte d'une marge d'incertitude).

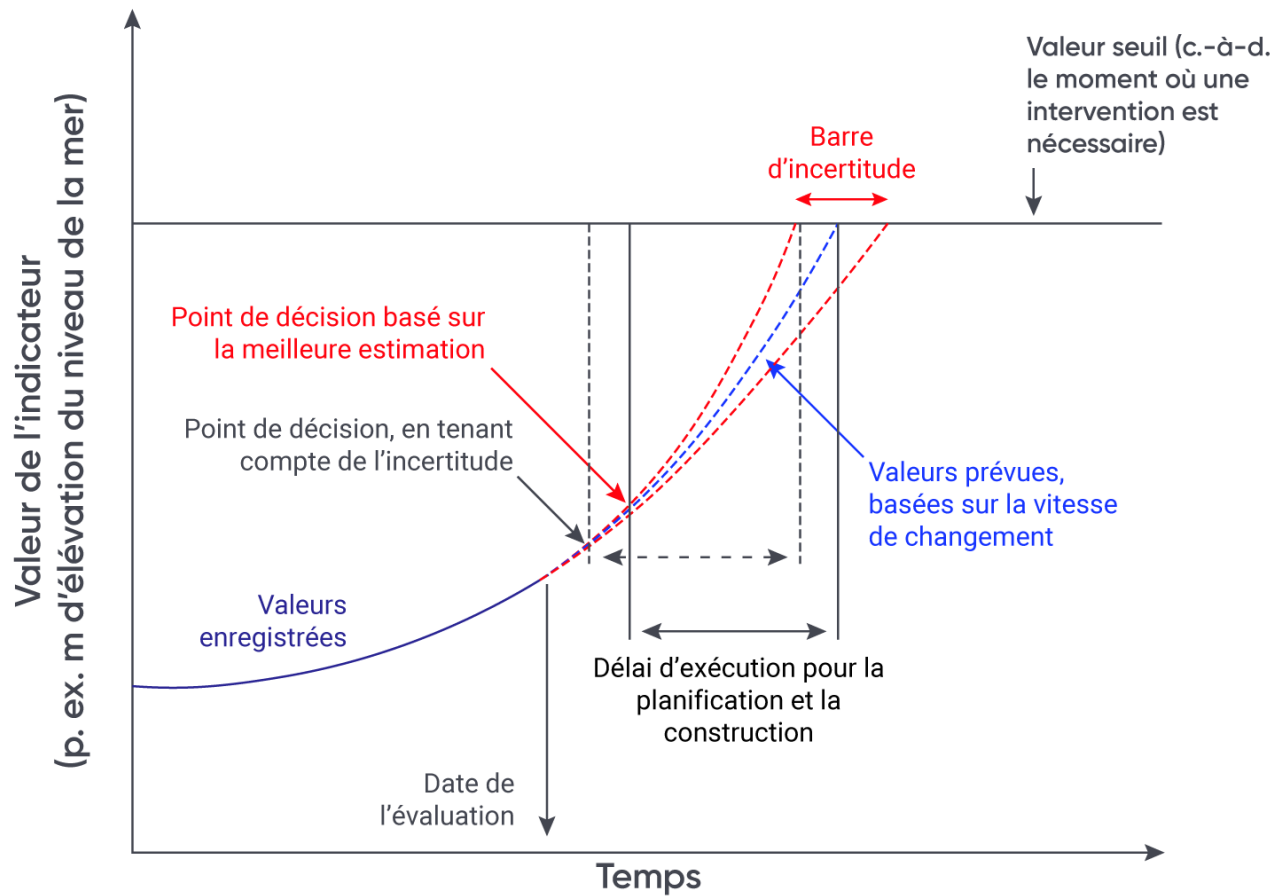


Figure 6.12 : Illustration des seuils, des délais d'exécution et des points de décision en matière d'adaptation dans le cadre du projet Thames Estuary 2100 au Royaume-Uni. Source : Adapté de Ranger et coll., 2013, avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH.

Chaque option HLO ainsi que les mesures individuelles connexes ont fait l'objet d'une évaluation formelle des options économiques, en utilisant une combinaison d'ACA et d'analyse décisionnelle multicritères. L'évaluation a porté sur une gamme d'impacts facilement monétisables (p. ex. dommages matériels, risques pour la vie, perte de terres agricoles) et non monétisables (p. ex. qualité et quantité de l'eau, loisirs, habitat et biodiversité, sentiment d'appartenance à la collectivité). Sur la base des résultats de l'évaluation, l'amélioration du système de protection existant – une mesure à faible regret – a été recommandée comme l'approche optimale pour les 60 premières années, de nouvelles options étant requises d'ici 2070 (sur la base des projections actuelles de l'élévation du niveau de la mer) pour 2100 et au-delà. Dans la première itération du plan, qui doit être révisée dans dix ans, les quatre options HLO demeurent ouvertes et envisagées. Toutefois, en raison de la longueur du délai d'exécution pour la construction de certaines des options requises d'ici 2070, une décision sur l'option préférée doit être prise d'ici 2050. Les décideurs disposent ainsi de quarante années supplémentaires pour accumuler des connaissances sur les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer et pour mieux comprendre les incertitudes en jeu avant de s'engager dans des mesures irréversibles et coûteuses. Si la surveillance révèle que les niveaux d'eau extrêmes (ou un autre

indicateur, tel que la fermeture de barrières) augmentent plus rapidement ou plus lentement que prévu selon les projections actuelles, le seuil de décision de 2050 pourra être avancé ou repoussé afin de garantir que les décisions soient prises au bon moment afin de permettre une réponse efficace en matière de coûts. La surveillance des indicateurs clés est importante pour la réussite de l'approche globale.

Deux aspects de l'application des outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie en relation avec les changements climatiques ont fait l'objet de nombreux débats critiques : 1) la pratique de l'actualisation des conséquences économiques futures, et 2) l'évaluation égale de toutes les conséquences contemporaines, indépendamment de qui en assume les coûts ou les avantages (Dennig, 2018; Li et coll., 2014).

6.6.4.2 Choix d'actualisation

Les mesures d'adaptation impliquent généralement un investissement initial qui génère un ensemble d'avantages, et parfois de coûts, qui ne se concrétisent pas la même année que l'investissement, mais s'étalent plutôt sur de nombreuses années voire des décennies. La pratique de l'actualisation (c.-à-d. l'attribution de poids aux impacts futurs) a été mise au point pour aider à comparer les coûts et les avantages qui se produisent à différents moments (voir Boyd et coll., 2013 pour un examen plus approfondi de cette question). Les individus agissant seuls, ainsi que les sociétés agissant collectivement, préfèrent avoir quelque chose maintenant plutôt que dans le futur.⁵ En bref, ils donnent plus de poids au présent qu'au futur. La différence entre la valeur d'un dollar aujourd'hui et la valeur d'un dollar dans un an est appelée le taux d'actualisation d'un individu ou d'une société. Ce taux détermine la rapidité avec laquelle les coûts et avantages futurs pondérés diminuent au fil du temps; plus le taux est élevé, moins les coûts et avantages futurs ont d'influence sur les valeurs actuelles. Le taux d'actualisation est indispensable pour déterminer le poids attribué aux impacts économiques futurs (voir l'annexe 6.3 pour plus d'informations sur le processus d'actualisation).

Le choix du taux d'actualisation dans l'analyse des politiques climatiques a fait l'objet de nombreux débats parmi les économistes, bien que ce soit essentiellement dans le contexte de la réduction des émissions de GES (p. ex. Markandya, 2019; Stern, 2008; Nordhaus, 2007). Le débat s'est concentré sur le taux à appliquer et, plus récemment, sur la question de savoir si ce taux devrait être constant dans le temps. En ce qui concerne la première question, il existe une distinction entre l'« approche prescriptive » et l'« approche descriptive » (Arrow et coll., 1996). Le premier, souvent appelée taux d'actualisation social, est basé sur

5 À proprement parler, il existe deux principales justifications pour donner moins de poids aux effets économiques futurs. L'une est basée sur la consommation et l'autre sur l'investissement (Arrow et al., 2012). En ce qui concerne la première, les individus et la société accordent moins de poids à l'avenir par anticipation que les générations futures seront plus riches et que le bien-être qu'elles reçoivent d'une consommation supplémentaire diminuera à mesure que leur niveau de consommation augmentera. En d'autres termes, la société manifeste une préférence temporelle pour la consommation actuelle par rapport à la consommation future. Le raisonnement en matière d'investissement considère que tant que la société peut obtenir un taux positif de retour sur investissement, elle peut investir moins d'un dollar aujourd'hui pour obtenir un dollar de bénéfices dans le futur. Dans le cas présent, le taux d'actualisation correspondrait au rendement d'un investissement. Chaque justification conduit à des taux d'actualisation différents.

le taux qui devrait être appliqué pour des raisons éthiques et politiques, tandis que le second, souvent associé au coût d'option du capital, est basé sur les taux appliqués dans les décisions que les entreprises et les individus prennent dans leur vie quotidienne. Les taux prescriptifs sont généralement inférieurs aux taux descriptifs, mais il existe également des différences importantes quant à ce que devrait être le taux prescriptif parmi les universitaires. Par exemple, dans le débat sur le taux à appliquer pour décider des cibles de réduction des émissions de GES, Stern (2006) préconise un taux d'actualisation social d'environ 1,4 %, tandis que Nordhaus (2007) et Weitzman (2007) présentent des arguments en faveur de taux de l'ordre de 4 à 6 %. En outre, une enquête menée auprès de 197 experts sur les déterminants du taux d'actualisation social a révélé un taux moyen à long terme recommandé de 2,27 % (Drupp et coll., 2015). Il y a eu un désaccord considérable sur la valeur du taux, comme l'indique l'étendue des valeurs recommandées par les différents experts (avec des valeurs allant de 0 à 10 %). Cependant, 92 % des experts étaient à l'aise avec des taux d'actualisation sociaux se situant dans un intervalle de 1 à 3 % (Drupp et coll., 2015). Le taux d'actualisation social officiel pour l'ACA des propositions réglementaires fédérales au Canada, comme recommandé par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (SCT), est de 3 % (SCT, 2018). Ce taux était toujours en vigueur au 1^{er} septembre 2018. Selon le SCT (2007), il est approprié de faire l'essai du taux d'actualisation social lorsqu'« une proposition réglementaire a principalement une incidence sur la consommation privée de biens et de services et que les impacts de la proposition se produisent sur le long terme (50 ans ou plus) ». Néanmoins, même lorsque le taux d'actualisation social est utilisé dans l'ACA, les valeurs actuelles basées sur le coût d'option du capital doivent être présentées.

Les taux descriptifs varient également beaucoup en fonction de la nature de l'investissement, des risques encourus et des autres possibilités d'investissement au pays. De 1976 jusqu'à la publication des lignes directrices sur l'ACA en 2007, le SCT exigeait que les ministères fédéraux utilisent une actualisation annuelle réelle de 10 % (Boardman et coll., 2008), établie à partir des données du marché. Les lignes directrices révisées, qui sont toujours en vigueur aujourd'hui, recommandent un taux d'actualisation de 8 % par an (SCT, 2007, estimé à partir des données du marché par Jenkins et Kuo, 2007)⁶. Ce taux est basé sur le coût d'option pondéré du capital provenant de trois sources : les investisseurs nationaux du secteur privé, les épargnants nationaux du secteur privé et les épargnants étrangers. Il est caractérisé comme une approche descriptive, par opposition au taux d'actualisation « social » prescrit de 3 %.

Sur la question de savoir si un taux d'actualisation devrait être constant dans le temps, la conception s'est progressivement éloignée d'un taux d'actualisation unique constant pour se rapprocher d'un taux d'actualisation qui diminue au fil du temps (Howard et Sylvan, 2015). Cela représente un changement majeur dans la façon de penser, car la détermination du taux d'actualisation telle que décrite ci-dessus suppose que le taux ne change pas au fil du temps, bien qu'il n'y ait aucune raison qu'il en soit ainsi. Plusieurs chercheurs ont présenté des arguments pour expliquer pourquoi le taux d'actualisation devrait diminuer avec le temps. Par exemple, certains résultats semblent indiquer que les individus et les sociétés n'actualisent pas l'avenir à un rythme constant, mais qu'ils adoptent plutôt une trajectoire déclinante ou « hyperbolique » (Gowdy, 2013; Kim et Zauberman, 2009; Settle et Shogren, 2004). Prenons l'exemple suivant : un individu est confronté à deux choix : 1) reporter sa consommation à l'année suivante, et 2) différer d'un an une consommation équivalente de l'année 50 à l'année 51 dans le futur. Alors qu'un report d'un an de la consommation actuelle peut signifier beaucoup pour l'individu, un report d'un an dans 50 ans peut ne pas signifier grand-chose.

6 Certains des postulats utilisés par Jenkins et Kuo (2007) pour arriver au taux de 8 % ont été remis en question par Boardman et al. (2008), qui suggèrent qu'il devrait se situer entre 2,5 et 4,7 %.

L'importance accordée à une année supplémentaire dans le futur diminue avec le temps. Toutefois, la formule standard d'actualisation constante donne la même valeur aux deux formes de report. D'autres arguments, souvent de nature technique, ont été avancés en faveur de la baisse des taux d'actualisation liés à l'incertitude sur l'avenir (p. ex. Epper et coll., 2011; Newell et Pizer, 2003; Sozou, 1998) ou sur le « bon » taux d'actualisation (p. ex. Weitzman, 2001; Azfar, 1998).

Ces travaux ont fourni des arguments convaincants en faveur de l'utilisation de taux d'actualisation décroissants (Arrow et coll., 2014, 2012; Cropper et coll., 2014), en particulier lorsqu'il s'agit de prendre des décisions concernant des investissements ayant une longue durée de vie (c.-à-d. de 30 à 50 ans). Il est toutefois important de maintenir autant de cohérence que possible dans la manière dont les taux d'actualisation sont utilisés. Il convient de noter que le Royaume-Uni et la France ont tous deux adopté des échéanciers de taux d'actualisation décroissants pour l'évaluation économique des investissements publics (voir la figure 6.13). Boardman et coll. (2008) proposent un échéancier de taux d'actualisation social décroissant pour les investissements publics intergénérationnels au Canada dont la durée de vie est supérieure à 50 ans : les coûts et les avantages d'actualisation sont de 3,5 % par an de l'année 0 à l'année 50, de 2,5 % par an de l'année 51 à l'année 100, de 2,0 % par an de l'année 100 à l'année 200 et de 1,5 % par an à partir de l'année 200.

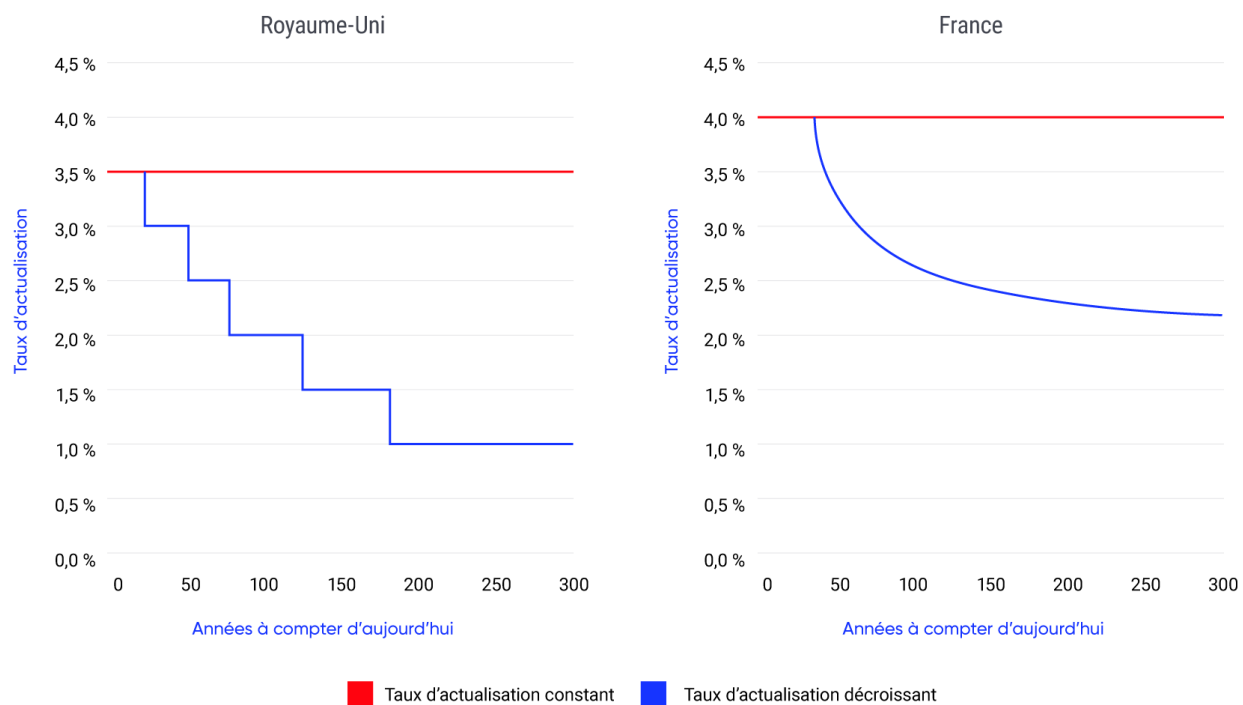


Figure 6.13 : Échéanciers de taux d'actualisation sociaux décroissants en pratique au Royaume-Uni et en France. La ligne rouge continue indique le taux d'actualisation social s'il était supposé constant dans le temps, tandis que la ligne bleue continue indique un échéancier de taux d'actualisation décroissants utilisés pour évaluer les politiques, programmes et projets publics dans chaque pays. L'échéancier du taux d'actualisation social pour le Royaume-Uni diminue par paliers discrets, passant de 3,5 % par an à 1 % par an. En France, le taux

officiel commence à baisser après 30 ans, en suivant une trajectoire hyperbolique. Dans les deux pays, le taux d'actualisation à appliquer aux prestations de l'année 200 est inférieur au taux de l'année 100. En conséquence, un poids plus important est accordé au futur plutôt que d'appliquer un taux d'actualisation constant aux avantages pour toutes les années. Source : Adapté de Damon et coll., 2013.

Parmi les exemples disponibles d'évaluation économique des mesures d'adaptation au Canada (voir l'annexe 6.4), les valeurs actuelles sont déterminées en utilisant un taux d'actualisation de 3 à 4 % par an. Cela implique que les études utilisent un taux d'actualisation social ou « prescriptif ». Le taux d'actualisation est également maintenu constant dans le temps, même sur des horizons temporels de 50 à 100 ans.

Le choix du taux d'actualisation et de l'échéancier n'est peut-être pas un enjeu aussi essentiel pour l'évaluation des investissements d'adaptation que pour des investissements dans les mesures de réduction des émissions de GES. Étant donné l'importance croissante accordée à l'adaptation précoce, ainsi qu'au calendrier et à l'échelonnement des mesures d'adaptation, les horizons temporels des décisions en matière d'adaptation peuvent être relativement courts, ce qui implique généralement des coûts et des avantages répartis sur des décennies plutôt que sur des siècles, comme c'est le cas pour les avantages des projets de réduction des émissions de GES. Pour les mesures d'adaptation de « flux »⁷, les coûts et les avantages s'échelonnent sur la même période. En outre, pour la plupart des décideurs des secteurs public et privé, le taux d'actualisation sera déjà prescrit pour des contextes décisionnels particuliers. Lorsque l'on compare les performances économiques de plusieurs mesures pour atteindre le même objectif d'adaptation qui a été évalué en utilisant différents taux d'actualisation, il est important de comprendre comment les différentes décisions d'actualisation influencent les résultats pour éviter de « comparer des pommes et des poires ».

6.6.4.3 Considérations relatives à la répartition

Lorsqu'il s'agit d'agrèger les coûts et les avantages, l'approche standard a consisté à appliquer un poids égal aux impacts subis par les différents acteurs. Cela peut présenter aux décideurs un ensemble différent de préoccupations en matière de répartition, puisque tous les acteurs potentiellement exposés ne sont pas soumis au même risque. Par exemple, les groupes à faible revenu et défavorisés sont souvent plus vulnérables aux impacts des changements climatiques et ont des capacités d'adaptation réduites. D'un point de vue de politique publique, il est important d'inclure la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation dans la prise de décisions. Le Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada publié par le SCT(2007), qui exige que les ministères fédéraux analysent les coûts et les avantages des règlements proposés, fait explicitement référence à la nécessité d'une analyse de la répartition : « L'analyse de la distribution permet de déterminer l'incidence du projet de règlement sur les intervenants touchés en fonction des catégories suivantes, notamment, mais sans s'y limiter : la taille des entreprises (petites, moyennes et

7 Les mesures d'adaptation de « flux » sont généralement des réponses à faible coût et de courte durée aux impacts des changements climatiques, dont les coûts et les avantages s'échelonnent sur la même période. Elles sont généralement flexibles et peuvent être facilement étendues, réduites ou modifiées. Par exemple, un agriculteur qui choisit de planter de nouvelles cultures résistantes à la chaleur en réponse au réchauffement du climat est un exemple d'adaptation de « flux ». L'agriculteur assumera les coûts des nouvelles semences et en retirera les avantages au cours de la même période (Felgenhauer et Webster, 2014 et de Bruin, 2011).

grandes entreprises), les revenus, l'âge, la région et le genre. Les ministères doivent également : réaliser une analyse de la distribution afin de déterminer comment les coûts et les avantages estimés sont répartis entre les intervenants » (SCT, 2018).

Les mesures d'adaptation ne feraient bien sûr pas exception à une telle exigence. Si les compromis entre la valeur actuelle nette d'une mesure et ses impacts sur la répartition demeurent une considération de nature politique, la littérature comprend une approche qui intègre explicitement les aspects de la répartition dans l'estimation sommaire de la valeur actuelle nette. Elle le fait en pondérant les différents avantages et coûts afin de refléter la valeur pour la société d'un avantage ou d'un coût pour une tranche de revenus donnée par rapport à la moyenne (voir l'annexe 6.5). Cette méthode de traitement des considérations de répartition (p. ex. Alder, 2016), où les avantages ou les coûts estimés sont multipliés par des facteurs de pondération inversement proportionnels au revenu des personnes, remonte aux années 1950 et a été incluse dans les premiers manuels d'ACA (Squire et van der Tak, 1975). Bien que cette méthode ne saisisse pas tous les enjeux de répartition qui pourraient intéresser les décideurs, elle se concentre pourtant sur l'inégalité des revenus.

En pratique, il est rare que des pondérations en matière d'équité soient appliquées dans les analyses économiques traditionnelles (Li et coll., 2014). Aucune des évaluations économiques des mesures d'adaptation au Canada abordées dans la section 6.7 ne tient compte des enjeux de répartition ou de l'utilisation formelle de pondérations en matière d'équité. En général, cependant, on constate un regain d'intérêt pour l'intégration de facteurs d'équité dans l'évaluation économique des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ceux-ci (Dennig, 2018), et l'application de pondérations en matière d'équité est une façon reconnue d'y parvenir (Rouillard et coll., 2016b).

6.7 Les avantages des mesures d'adaptation au Canada compensent les coûts

Les avantages des mesures de planification de l'adaptation aux changements climatiques au Canada dépassent généralement les coûts, parfois de manière importante, ce qui justifie fortement l'analyse de rentabilisation des investissements proactifs dans l'adaptation. Même lorsque des adaptations avantageuses sont adoptées, des coûts de dommages résiduels sont souvent encore engagés, ce qui suggère qu'il existe des limites économiques à l'adaptation.

Les études sur les coûts et les avantages de l'adaptation au Canada ont utilisé l'analyse coûts-avantages (ACA) traditionnelle. Sur un échantillon de 60 mesures d'adaptation visant à remédier à des impacts tels que les inondations côtières, les faibles niveaux d'eau, la réduction de l'approvisionnement en bois, le stress thermique et la mauvaise qualité de l'air, le rapport avantages-coûts moyen était de 5,6:1, avec 75 % des mesures ayant un rapport supérieur à un. Dans l'ensemble de cet échantillon, les mesures d'adaptation douces (p. ex. les changements dans la planification et les pratiques de lutte contre les organismes nuisibles) ont donné de meilleurs résultats que les mesures d'ingénierie dures (p. ex. les digues et les ouvrages longitudinaux). La performance économique

des mesures d'adaptation est également fortement dépendante du site et du contexte. L'adaptation n'annule généralement pas tous les coûts liés aux changements climatiques : un certain niveau de coûts liés aux dommages résiduels est en général encore engagé.

6.7.1 Analyse économique des options en matière d'adaptation au Canada

La littérature sur l'évaluation des coûts et des avantages de l'adaptation au Canada se limite au secteur public et à quelques secteurs sensibles au climat; elle couvre donc un éventail restreint d'impacts des changements climatiques, de régions et de mesures d'adaptation potentielles. Il est donc difficile de formuler des généralisations de grande portée sur les coûts et l'attrait économique des mesures d'adaptation dans tous les contextes. Cette section aborde l'application des méthodes présentées à la section 6.6 dans le contexte canadien.

6.7.1.1 Évaluations économiques de l'adaptation

D'une manière générale, bien que le corpus de données probantes sur les avantages et les coûts des mesures d'adaptation aux changements climatiques ait considérablement augmenté au cours des dernières années, sa portée reste très restreinte en raison des secteurs sensibles au climat pris en compte, de la représentation régionale des études économiques et de l'application des différentes méthodes d'évaluation économique. Près de 75 % des mesures d'adaptation individuelles évaluées concernent l'adoption potentielle de mesures d'adaptation dans les zones côtières pour faire face aux risques d'élévation du niveau de la mer, d'inondation et d'érosion par les ondes de tempête (voir l'étude de cas 6.5). Il convient de noter que, même si toutes les études disponibles effectuent des évaluations prospectives des mesures d'adaptation qui pourraient être mises en œuvre, aucune ne fournit d'évaluations rétrospectives des mesures adoptées. Plusieurs études ont évalué les mesures d'adaptation visant à contrer les impacts négatifs des bas niveaux d'eau sur des enjeux tels que le transport maritime, la production hydroélectrique, les prix des propriétés riveraines, les services écologiques et la pêche dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Les autres études ont procédé à l'évaluation économique des mesures d'adaptation visant à contrer les impacts négatifs des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois dans l'ensemble du Canada, le stress thermique et la qualité de l'air à Toronto, les conditions d'enneigement et la durée de la saison de ski dans des stations au Québec, ainsi que la fonctionnalité d'une route de glace hivernale dans les Territoires du Nord-Ouest.

Il est clair que ces études ne représentent qu'un sous-ensemble des secteurs sensibles au climat au Canada; il existe d'importantes lacunes en matière de données probantes concernant l'évaluation économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques pour des secteurs tels que les transports (ferroviaire, routier et aérien), les ressources en eau (sécurité et qualité de l'eau), l'assainissement, l'énergie (y compris l'électricité), la pêche, l'agriculture, le tourisme, les services écosystémiques et la santé humaine. Il existe également un manque de données probantes sur les avantages et les coûts de l'adaptation planifiée aux impacts sanitaires liés aux changements climatiques, bien que les impacts associés à la santé humaine puissent être parmi les plus importants sur le plan économique. Comme le montre l'étude de Larrivée et coll.

(2015) pour le Québec, la valeur actualisée des coûts totaux de la mortalité prématurée due aux extrêmes de température au cours de la période de 2015 à 2064, mesurée d'un point de vue social, a été estimée à 33 milliards de dollars (en dollars de 2012). Si l'on prend également en compte la maladie de Lyme, le virus du Nil occidental et les aéroallergènes, le coût total en valeur actualisée passe à environ 35 milliards de dollars (voir l'annexe 6.1; Larrivée et coll., 2015).

La concentration des études accessibles sur un ensemble restreint de secteurs signifie que certaines régions du Canada sont bien représentées dans la littérature (p. ex. les zones côtières, en particulier au Québec et au Canada atlantique), tandis que d'autres le sont peu. À l'exception du secteur forestier, il y a d'importantes lacunes en matière de données pour les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon et le Nunavut, l'Ontario, l'intérieur de la Colombie-Britannique et les provinces des Prairies. Bien que l'Alberta ait historiquement connu une part disproportionnée de catastrophes naturelles attribuables aux conditions météorologiques au Canada (voir la section 6.4.2), aucune étude accessible n'a examiné les avantages et les coûts de l'adaptation aux changements climatiques dans la province. Plusieurs études ont réalisé des ACA de mesures visant à réduire les impacts des inondations riveraines (p. ex. IBI Group 2015a, b et c pour la Ville de Calgary), sans toutefois faire référence aux changements climatiques.

Il existe également une pénurie d'études accessibles sur les avantages et les coûts des mesures d'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités autochtones. Dans le cadre du Programme d'adaptation aux changements climatiques des Premières Nations mis en place par Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, une méthode a été élaborée pour fournir au personnel du Ministère des conseils sur la façon d'évaluer les répercussions économiques du maintien des obligations du Ministère à l'égard des collectivités autochtones face aux changements climatiques (Girard, 2018). Cette méthode a été utilisée pour évaluer les impacts économiques des mesures d'adaptation dans deux contextes décisionnels différents (Girard, 2018). Le premier a examiné l'impact du réchauffement attendu sur les routes d'hiver, ainsi que les coûts et les avantages de l'adaptation pour le réseau de routes d'hiver du Nord de l'Ontario. Le second a examiné les coûts et les avantages de l'adaptation aux inondations côtières dues à l'élévation du niveau de la mer pour la Première Nation d'Indian Island et la Première Nation d'Eel River Bar, toutes deux au Nouveau-Brunswick. Dans le premier contexte, l'évaluation économique a déterminé que la construction d'un réseau routier toutes saisons pour desservir les collectivités est économiquement inefficace par rapport au statu quo (c.-à-d. les routes d'hiver plus le financement de subventions d'urgence pour le carburant), dans tous les scénarios envisagés. Dans le deuxième contexte, l'évaluation a conclu que l'investissement dans des mesures de réduction des inondations à court terme a généré des avantages qui ont largement dépassé les coûts connexes dans tous les scénarios de protection contre les inondations examinés. Des résultats quantitatifs n'étaient pas disponibles pour ces deux études.

Dans toutes les études résumées dans l'annexe 6.4, l'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation a été réalisée au moyen d'une ACA. Le corpus disponible pour le Canada ne comprend pas d'applications de l'ACE ou de l'analyse décisionnelle multicritères, ni d'applications de nouveaux outils économiques, tels que la prise de décisions solides, l'analyse des options réelles, l'analyse de portefeuille et les voies d'adaptation, pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation dans un contexte d'incertitude.

Étude de cas 6.5 : Évaluation des coûts et des avantages des options en matière d'adaptation pour les zones côtières du Québec et du Canada atlantique

Les localités côtières de l'Est du Canada et du Canada atlantique sont vulnérables à l'érosion et aux inondations. Les risques attribuables à ces dangers devraient augmenter avec les changements climatiques, menaçant les collectivités. Afin d'éclairer l'analyse de rentabilisation de l'investissement dans les mesures d'adaptation, une analyse coûts-avantages (ACA) standard a été utilisée pour évaluer une série de mesures d'adaptation dans 11 sites d'étude de cas (englobant 46 segments côtiers plus petits) au Québec et au Canada atlantique. Ces sites comprennent Percé, Maria, Carleton-sur-Mer, les Îles-de-la-Madeleine et Kamouraska au Québec; l'isthme de Chignecto, qui s'étend du Nouveau-Brunswick à la Nouvelle-Écosse; le havre d'Halifax en Nouvelle-Écosse; la route côtière et le parc provincial de North Cape, ainsi que le port pour petits bateaux et la route de Tracadie à l'Île-du-Prince-Édouard; et Bay Bulls-Witless Bay et Marystown à Terre-Neuve.

L'ACA, comme tous les outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie, compare les coûts et les avantages d'un scénario « avec projet » (c.-à-d. ce qui est attendu à la suite de l'adoption d'une mesure d'adaptation) à ceux d'un scénario « sans projet » (c.-à-d. ce qui est attendu si cette mesure d'adaptation n'est pas adoptée). Dans ce cas, le scénario « sans projet » est donné par les coûts des dommages économiques directs résultant des inondations et de l'érosion côtières projetées avec les changements climatiques sur une période de 50 ans (2015–2064), en supposant qu'il n'y ait aucun changement socio-économique (c.-à-d. aucune croissance démographique et économique) ou des mesures d'adaptation supplémentaires pour chaque site. Les impacts ayant des conséquences économiques commerciales et non commerciales inclus dans l'évaluation sont présentés dans le tableau 6.6; tous les impacts ne sont pas pertinents pour tous les sites d'étude de cas. Le coût des mesures d'adaptation comprenait à la fois les dépenses d'investissement et les coûts d'entretien; les avantages reflétaient les coûts des dommages directs évités en plus de l'équivalent financier des impacts connexes positifs générés.

Un portefeuille d'options d'adaptation adéquates a été élaboré pour chaque site, à partir des catégories d'intervention suivantes :

- Structures d'ingénierie dures (p. ex. murs en béton, digues, pavages rocheux, enrochements, parois en palplanches, ouvrages longitudinaux, épis en T);
- Structures d'ingénierie douces (p. ex. le rechargement des plages avec du sable, seul ou en conjonction avec des épis);
- Options préventives (p. ex. retrait planifié des bâtiments, élévation des bâtiments et des infrastructures, les deux interventions précédentes combinées, fermeture des parcs).

Tableau 6.6 : Coûts et avantages économiques inclus dans l'analyse coûts-avantages des mesures d'adaptation

TYPE DE SOURCE DES COÛTS ET AVANTAGES	COÛTS DÉCOULANT DES IMPACTS NÉGATIFS	AVANTAGES DÉCOULANT DES IMPACTS POSITIFS
Liés à l'érosion	Perte de terres	
	Perte totale ou partielle de bâtiments résidentiels ou commerciaux	
	Perte ou endommagement des infrastructures publiques	
	Évacuation d'urgence	
Liés aux inondations	Dommages causés aux terres	
	Dommages causés aux bâtiments résidentiels ou commerciaux	
	Dommages causés aux infrastructures publiques	
	Évacuation d'urgence	
	Embouteillages ou déviations de la circulation	
	Nettoyage des débris	

TYPE DE SOURCE DES COÛTS ET AVANTAGES	COÛTS DÉCOULANT DES IMPACTS NÉGATIFS	AVANTAGES DÉCOULANT DES IMPACTS POSITIFS
Économiques	Baisse de la valeur des terres	
	Perte de biens et de revenus commerciaux	
	Diminution du commerce	
	Perte de revenus touristiques	Hausse des revenus touristiques
Environnementaux	Perte d'habitats naturels	Amélioration des aires de fraie pour les poissons
	Perte d'aires de fraie pour les poissons	
Sociaux	Perte de vues sur la mer	Amélioration de l'utilisation de la côte à des fins récréatives
	Perte d'accès à la mer	
	Déclin de l'utilisation récréative de la côte	
	Réduction de la qualité de vie (anxiété, insécurité, etc.)	Amélioration de la qualité de vie (sécurité, etc.)
	Dégradation du paysage	Amélioration du paysage
	Détérioration du patrimoine historique et culturel	

Légende:

 Coût prévu par le Québec et le Canada atlantique

 Coût prévu par le Québec seulement

 Avantage prévu par le Québec seulement

Source : Boyer-Villemaire et coll., 2016

Deux mesures de la performance économique ont été générées par cette ACA : 1) la valeur actuelle nette (c.-à-d. les avantages en valeur actuelle moins les coûts en valeur actuelle) et 2) le rapport avantages-coûts (c.-à-d. les avantages en valeur actuelle divisés par les coûts en valeur actuelle). Les valeurs actuelles ont été calculées sur 50 ans (2015–2064) en utilisant un taux d'actualisation constant de 4 % par an (l'analyse de sensibilité a utilisé des taux de 2 % et 4 %). Tous les coûts et avantages sont mesurés en dollars constants de 2012.

Les résultats de l'ACA (voir la figure 6.14) suggèrent que la mise en œuvre des mesures d'adaptation les plus performantes sur chaque segment côtier entraînerait des gains économiques nets (c.-à-d. que la valeur actuelle nette est positive) pour 27 des 46 segments (59 % des cas). Dans ces 27 segments côtiers, l'intervention privilégiée en moyenne ne fait pas intervenir de mesures d'ingénierie dures ou douces, mais plutôt une option préventive, telle qu'un retrait planifié, l'élévation de bâtiments et d'infrastructures ou l'utilisation combinée d'une mesure d'ingénierie et d'une option préventive (voir la figure 6.15). Le large éventail des valeurs actuelles nettes estimées et le nombre de mesures ou de segments d'adaptation entrant dans un groupe de performance particulier dans la figure 6.14 suggèrent que tant la décision d'intervenir que le choix de la mesure d'adaptation ne peuvent être généralisés pour être appliqués ailleurs. L'argument économique en faveur des mesures d'adaptation est fortement influencé par des facteurs propres à chaque site.

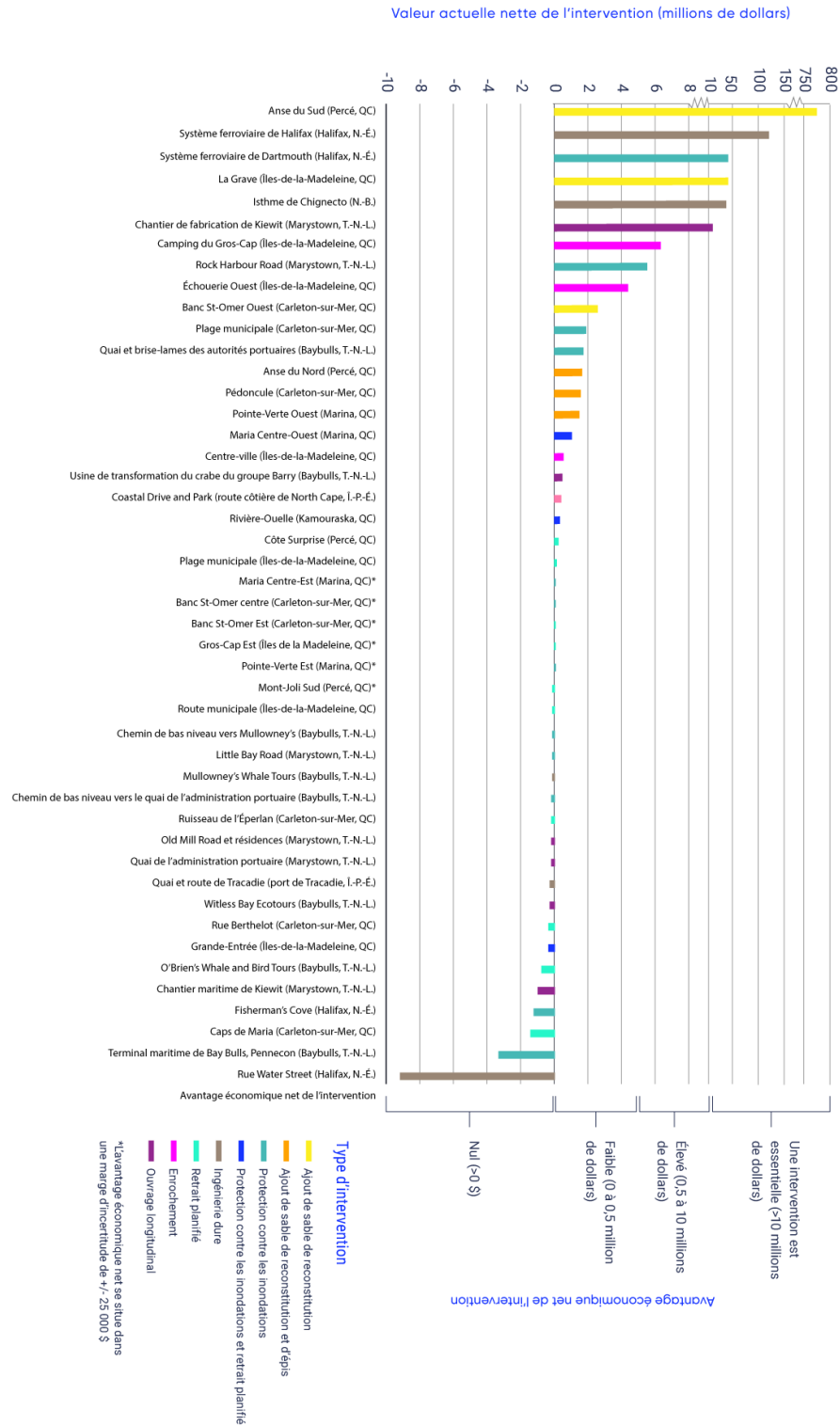


Figure 6.14 : Valeurs actuelles nettes des mesures d'adaptation les plus performantes pour chacun des 46 segments côtiers de 11 sites d'étude de cas au Québec et au Canada atlantique, classés de l'avantage économique élevé (à gauche) à l'avantage économique faible (à droite) de l'intervention. Source : Adapté de Circé et coll., 2016b.

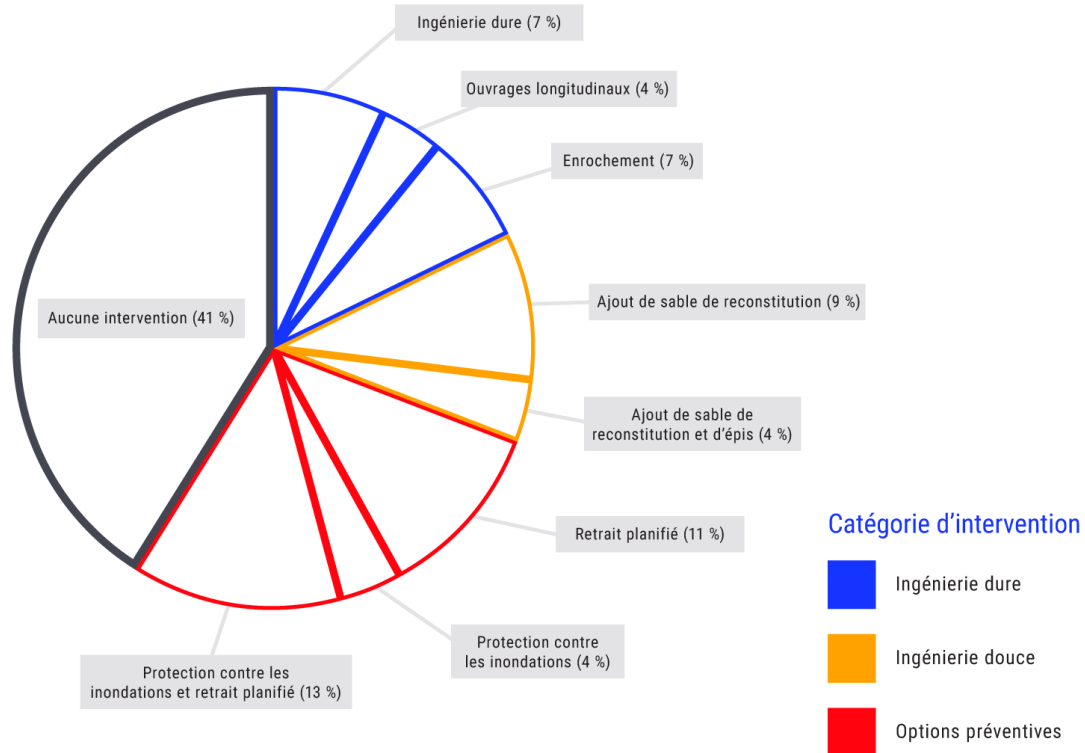


Figure 6.15 : Répartition des mesures d'adaptation les plus performantes par catégorie d'intervention, d'après une analyse coûts-avantages de 46 segments côtiers dans 11 sites d'étude de cas au Québec et au Canada atlantique. Source : Adapté de Boyer-Villemare et coll., 2016.

Étude de cas 6.6 : Prise en compte des avantages connexes dans l'évaluation économique des mesures d'adaptation pour la rétention d'eau à Pelly's Lake, au Manitoba

Pelly's Lake est un bassin de retenue naturel situé près de Holland, au Manitoba, qui se jette dans la rivière Boyne, un affluent de la rivière Rouge, qui a déjà connu des inondations importantes. Des terres agricoles fertiles entourent le lac, produisant une variété de cultures, dont le canola, le blé de printemps, la luzerne et l'orge. La capacité de stockage d'eau du lac est de 2,1 millions de m³, ce qui en fait une source d'eau importante pour l'irrigation qui permet aux agriculteurs de gérer le risque de précipitations variables avec les changements climatiques. En 2017, des chercheurs de l'Université de la Saskatchewan ont réalisé une évaluation économique des mesures d'adaptation impliquant Pelly's Lake (Moudrak et coll., 2018; Berry et coll., 2017 a, b) avec pour objectif de réduire le stress hydrique des cultures agricoles en soutenant les

opérations d'irrigation pendant les périodes de sécheresse, et ce, selon différents scénarios d'émissions (RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5).

Les changements prévus dans les précipitations et la température (basés sur les valeurs moyennes d'ensemble de quatre modèles de circulation générale à échelle réduite obtenus du Pacific Climate Impacts Consortium) ont été introduits dans un modèle économique intégré « hydrologique-réservoir-irrigation-croissance végétale » du bassin versant, développé à partir des données pour la période de 2005 à 2014. Des projections des marges brutes pour l'ensemble des cultures, avec et sans irrigation, ont été réalisées pour deux périodes futures : les années 2050 (moyenne décennale pour 2050 à 2059) et les années 2090 (moyenne décennale pour 2090 à 2099). En moyenne, par rapport au cas « sans irrigation », le revenu brut futur projeté (en dollars de 2015 par hectare) avec irrigation a augmenté d'environ 12,1 \$ (RCP2.6), 14,4 \$ (RCP4.5) et 13,5 \$ (RCP8.5) dans les années 2050, et d'environ 14,3 \$ (RCP2.6), 13,4 \$ (RCP4.5) et 11,8 \$ (RCP8.5) dans les années 2090. Cela suggère que les rendements des cultures augmentent avec l'irrigation. Toutefois, lorsque les coûts d'investissement et d'entretien du système d'irrigation sont pris en compte, la différence de marges brutes (pour le cas « avec irrigation » moins celles du cas « sans irrigation ») est systématiquement négative pour les deux périodes et pour les trois scénarios d'émissions. Par exemple, les marges brutes projetées avec irrigation dans les années 2090 sont inférieures d'environ 146 à 148 dollars par hectare aux marges brutes sans irrigation. Même si la disponibilité de l'eau d'irrigation augmente le rendement des cultures, l'augmentation correspondante du revenu brut est insuffisante pour compenser les coûts du système d'irrigation.

Le système de rétention d'eau de Pelly's Lake fournit toute une série de services, en plus de stocker l'eau et de soutenir l'irrigation des cultures. Le système peut être utilisé pour la production de biomasse (quenouilles) et la rétention des nutriments, réduisant ainsi la charge en nutriments et en sédiments en aval. Il peut également séquestrer le carbone et capter l'excès de ruissellement printanier ou les pluies des précipitations extrêmes, ce dernier point réduisant les risques d'inondation en aval. Ces avantages connexes positifs ont été évalués à environ 25 505 dollars par hectare et par an.

L'utilisation du système de rétention d'eau multifonctionnel à Pelly's Lake comme mesure d'adaptation pour aider les agriculteurs à gérer les risques liés au stress hydrique dans des conditions de changements climatiques ne passe pas un test coûts-avantages standard, si l'on considère uniquement les avantages en matière d'irrigation fournis aux agriculteurs participants. Toutefois, si la gamme des avantages connexes fournis par le système devait être incluse dans l'analyse, le système serait considéré comme économiquement viable en tant que mesure d'adaptation. Les avantages connexes privés fournis par le système, s'ils sont monétisés, suffiraient à créer une analyse de rentabilisation qui inciterait les agriculteurs à investir dans l'irrigation, tout en offrant des avantages économiques et environnementaux plus larges à la région.

6.7.1.2 Coût de l'adaptation

L'annexe 6.4 fournit certaines informations sur le coût estimé des options d'adaptation, qui servent d'intrants aux analyses coûts-avantages. En général, la compréhension du coût de l'adaptation aux changements climatiques au Canada en est à ses débuts. Deux études récentes ont toutefois cherché à rectifier ce manque de connaissances. Le Bureau d'assurance du Canada et la Fédération canadienne des municipalités (2020) estiment que 5,3 milliards de dollars (en dollars de 2019) doivent être investis annuellement, en moyenne, sur un horizon de planification de 50 ans pour adapter les infrastructures publiques canadiennes (p. ex. routes, digues, installations de traitement des eaux, réseaux d'égouts) aux dangers liés aux changements climatiques. Cela équivaut à environ 0,26 % du PIB national par an. Ce niveau de dépenses pour l'adaptation aux changements climatiques est cohérent avec celui des grandes villes à l'échelle internationale; par exemple, les dépenses réelles pour l'adaptation aux changements climatiques à Londres, à New York et à Paris en 2014–2015 se sont élevées à 0,22–0,23 % du PIB de ces villes (Georgeson et coll., 2016). En matière de dangers liés aux changements climatiques individuels et de types d'infrastructures, la réduction des risques d'inondation et l'investissement dans les infrastructures grises (comme les bâtiments, les digues, les routes, etc.), respectivement, étaient associés aux niveaux de dépenses les plus élevés. À l'échelle régionale, les dépenses annuelles prévues pour l'adaptation aux changements climatiques au Canada atlantique représentent environ les deux tiers (3,6 milliards de dollars) du total national. Le coût relatif aux particularités régionales doit toutefois être considéré avec précaution. Les résultats ci-dessus sont tirés d'une base de données de plus de 400 estimations de coûts provenant des plans d'adaptation aux changements climatiques de 34 collectivités dans l'ensemble du Canada (Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités, 2020). Certaines régions du Canada sont sous-représentées (comme la Colombie-Britannique et le Nunavut), tout comme les centres urbains de taille moyenne, tandis que d'autres régions (Alberta) et les petits centres de population sont surreprésentés. En outre, le processus de planification de l'adaptation utilisé par les 13 collectivités de l'Alberta (40 % de l'échantillon) figurant dans la base de données encourage la priorisation des mesures « douces » sans regret et à faible regret, peu exigeantes en matière d'investissements. Pour ces raisons, et du fait que les mesures d'adaptation chiffrées dans les plans des collectivités se concentrent vraisemblablement sur les risques aux changements climatiques prioritaires, et non sur tous les risques, les dépenses estimées à 5,3 milliards de dollars par an sont probablement une sous-estimation des investissements nécessaires en matière d'adaptation.

Une autre étude récente a estimé les dépenses nécessaires pour adapter les infrastructures municipales du Québec aux risques liés aux changements climatiques à 2,8–5,4 milliards de dollars (en dollars de 2019) au cours des cinq prochaines années (Groupe AGECO, 2019).⁸ Cela équivaut à environ 0,12–0,23 % du PIB par an. Là encore, l'ampleur totale des investissements nécessaires à l'adaptation est sans doute sous-estimée, car seul un sous-ensemble d'infrastructures publiques est pris en compte dans l'analyse, à savoir les réseaux d'eau (eau potable, assainissement et drainage), les infrastructures vertes et les routes.

8 Il peut y avoir un certain chevauchement avec l'estimation de coût du Bureau d'assurance du Canada et de la Fédération canadienne des municipalités (2020) de 5,3 milliards de dollars par an, qui comprenait quatre municipalités du Québec.

6.7.2 Les arguments économiques en faveur de l'adaptation

Pour aider à tirer des conclusions sur les arguments économiques en faveur de l'adaptation aux changements climatiques à partir des études disponibles répertoriées dans l'annexe 6.4, les mesures d'adaptation pour lesquelles un rapport avantages-coûts a été signalé ou a pu être calculé (60 mesures au total) sont classées par ordre d'importance et présentées dans la figure 6.16. Un rapport avantages-coûts est donné sur la base de la valeur actuelle des avantages d'une mesure d'adaptation, divisée par la valeur actuelle de ses coûts. À ce titre, il agit comme un contrôle pour la gamme des mesures d'adaptation, facilitant ainsi les comparaisons entre des mesures de taille différente (d'autres facteurs limitant les comparaisons sont examinés ci-dessous). Un rapport avantages-coûts supérieur à un indique que les avantages d'une mesure d'adaptation dépassent les coûts encourus pour générer ces avantages : une telle mesure serait généralement un investissement justifiable sur le plan de l'efficacité économique. Cependant, toutes les mesures dont le rapport avantages-coûts est supérieur à un ne sont pas nécessairement mises en œuvre, car leur réalisation dépend d'une série de facteurs, notamment des ressources disponibles (voir la section 6.8.1).

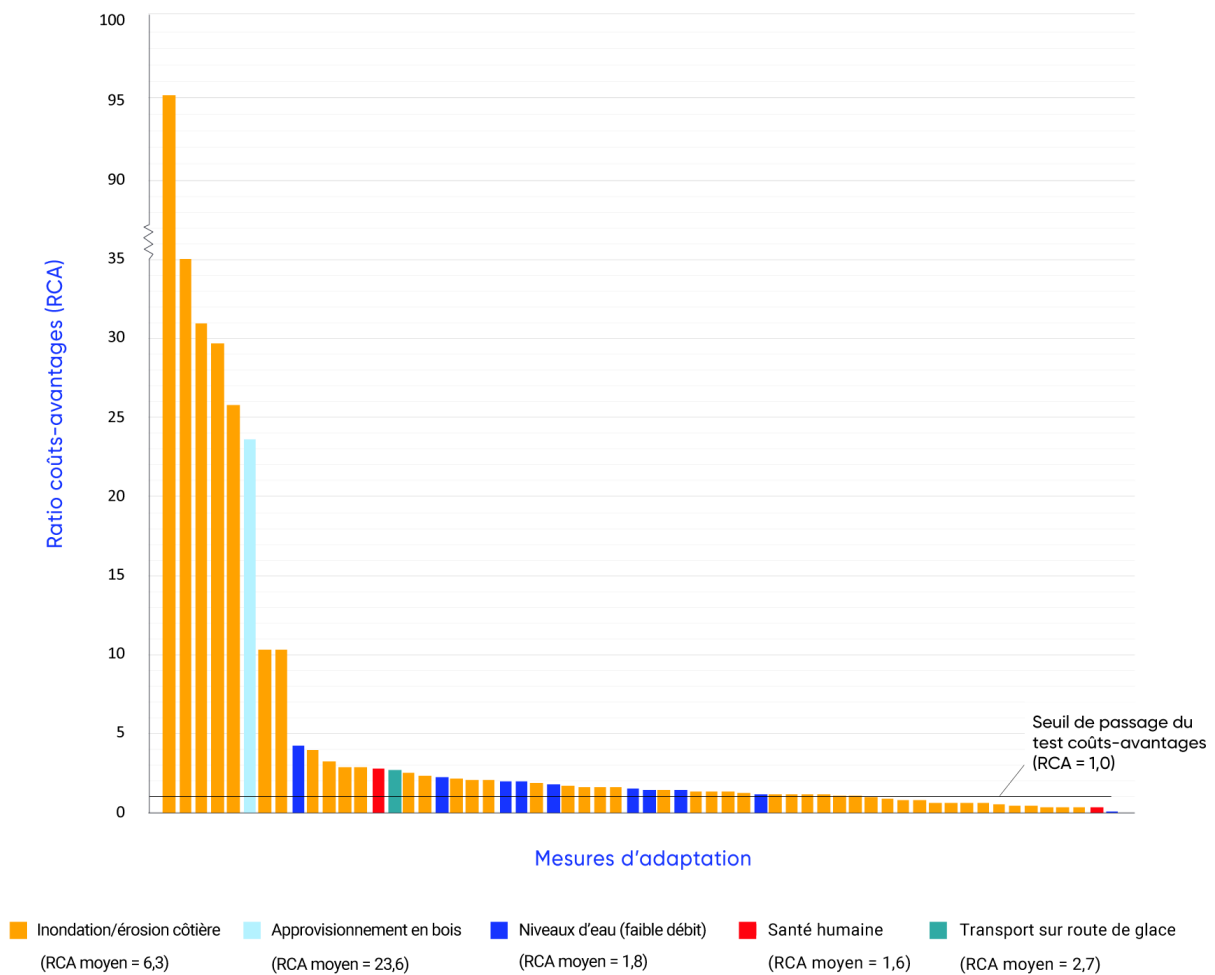
La figure 6.16 montre que, sur l'ensemble des 60 mesures d'adaptation, 75 % passent le test coûts-avantages. Le rapport avantages-coûts moyen non pondéré est de 5,6 (c.-à-d. que chaque dollar investi dans des mesures d'adaptation aux changements climatiques génère, en moyenne, 5,60 dollars en avantages). Le rapport avantages-coûts moyen est toutefois fortement biaisé par quelques valeurs extrêmement élevées. La médiane non pondérée du rapport avantages-coûts est de 1,5, et la moitié des valeurs se situent entre 0,9 et 2,7. Ces valeurs sont conformes à l'expérience observée à l'international. Par exemple, Rose et coll. (2007) ont examiné un échantillon statistique de près de 5 500 subventions accordées entre 1993 et 2003 par la Federal Emergency Management Agency (FEMA) aux États-Unis pour lutter contre les dangers liés aux séismes, aux inondations et au vent et ont constaté que le rapport avantages-coûts global moyen était d'environ 4,0, alors que le rapport avantages-coûts moyen pour les mesures de réduction des inondations était de 5,1. De même, la Global Commission on Adaptation a constaté que 1 dollar investi intelligemment dans l'adaptation aux changements climatiques pouvait générer 2 à 10 dollars en avantages économiques (Global Commission on Adaptation, 2019).

Les exemples disponibles à partir des 60 mesures d'adaptation suggèrent que les mesures « douces » (avec un rapport avantages-coûts moyen de plus de 10:1) représentent des investissements plus efficaces sur le plan économique que les mesures d'adaptation « dures » (avec un rapport avantages-coûts moyen d'environ 3:1). Cela s'explique en grande partie par des coûts d'investissement initiaux plus élevés pour ces dernières mesures. Cela est également dû en partie à l'inclusion des avantages connexes monétisés générés par certaines des mesures « douces » (notamment dans l'évaluation des mesures d'adaptation côtières au Québec) et à l'inclusion d'avantages directs et indirects (c.-à-d. les coûts évités) dans quelques études (p. ex. l'approvisionnement en bois) qui n'ont examiné que les mesures d'adaptation « douces ». Comme souligné à la section 6.6.1, la performance économique d'un projet n'est qu'un des nombreux critères importants pour le choix des options d'adaptation. Dans certains cas, les options « douces » peuvent ne pas offrir un niveau acceptable de réduction des risques, ce qui nécessite l'adoption d'options « dures », dont le rapport avantages-coûts peut être moins intéressant.

En général, la diversité des choix méthodologiques rend difficile la comparaison des résultats entre les évaluations disponibles des coûts et des avantages de l'adaptation. Les études utilisent des horizons

temporels, des scénarios d'émissions et des normes différents et elles reposent sur des hypothèses différentes en matière de développement socio-économique et monétisent diverses combinaisons d'impacts sur le marché et non liés au marché, d'avantages connexes et d'impacts directs et indirects (voir l'étude de cas 6.6). Elles utilisent également des taux d'actualisation différents, bien que ce point soit moins problématique en ce qui concerne la comparabilité des études, puisque presque toutes appliquent des taux constants de 3 à 4 % par année, ce qui témoigne d'une approche prescriptive plutôt que descriptive de l'actualisation (voir la section 6.6.3.2).

a)



b)

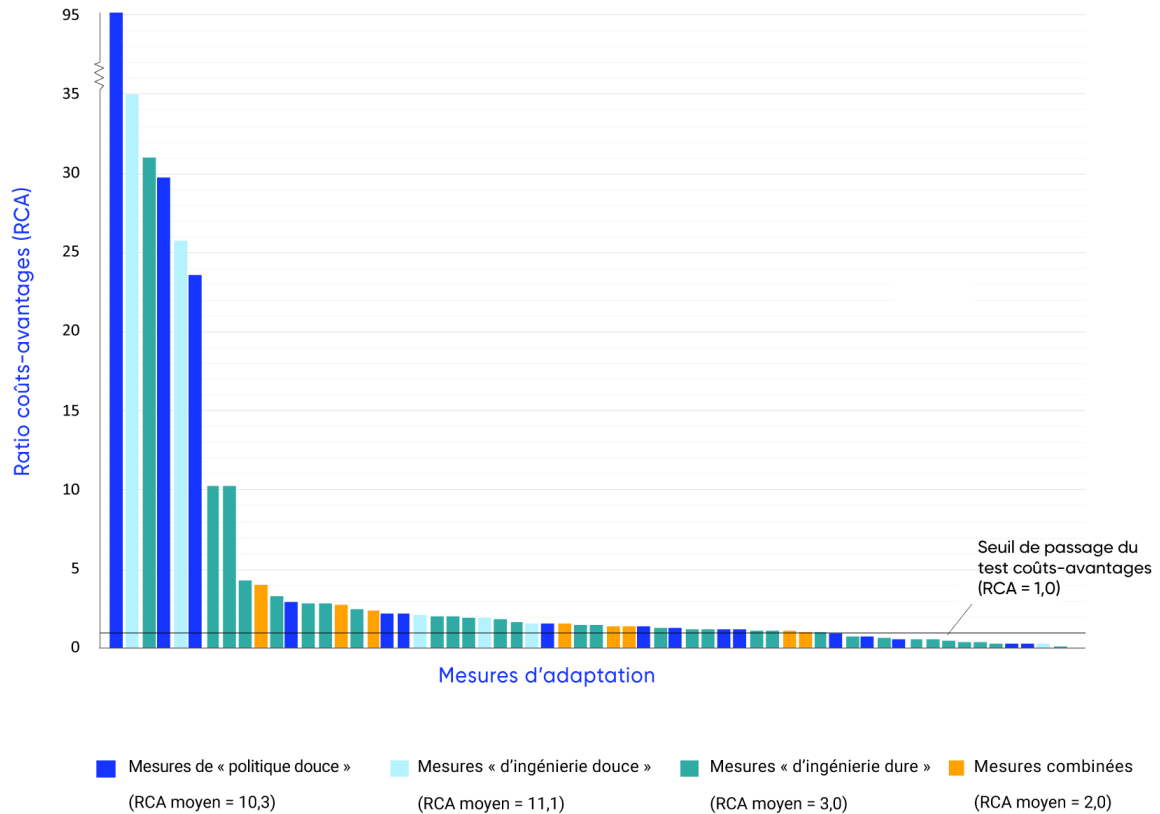


Figure 6.16 : La figure montre les rapports avantages-coûts estimés, soit les avantages en valeur actuelle divisés par les coûts en valeur actuelle, pour 60 mesures d'adaptation au Canada (voir l'annexe 6.4). Parmi les mesures envisagées, 75 % ont un rapport avantages-coûts supérieur à un, signifiant que les avantages dépassent les coûts encourus pour générer ces avantages (c.-à-d. qu'elles seraient typiquement considérées comme des investissements justifiables selon une perspective d'efficacité économique). Le fait que le rapport avantages-coûts moyen non pondéré pour les 60 mesures est de 5,6, bien que le rapport avantages-coûts médian non pondéré soit de 1,5 a) montre les rapports avantages-coûts des différents types de mesures d'adaptation de l'échantillon, différenciés par secteur sensible au climat, et b) montre les rapports avantages-coûts de ces mesures, différenciés par catégorie de mesures d'adaptation : les mesures de « politique douce » (p. ex. le retrait planifié, l'amélioration de la lutte contre les organismes nuisibles, la planification flexible); les mesures reposant sur des méthodes d'ingénierie « douces » (p. ex. le rechargement des plages avec du sable, les toits verts); les mesures d'ingénierie « dures » (p. ex. les digues, les déversoirs, les ouvrages longitudinaux); et les mesures « combinées ». Source des données : consulter l'annexe 6.4.

6.7.3 Dommages résiduels

Il ressort des études de la TRNEE (2011) dans l'annexe 6.4 que, même avec la mise en place de mesures d'adaptation, les coûts résiduels des dommages dus aux changements climatiques demeurent. Par exemple, le coût de l'adoption d'un portefeuille de mesures d'adaptation pour faire face aux impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois est de 2,3 à 3,6 milliards de dollars (en valeur actuelle, à un taux d'actualisation constant de 3 % pour la période de 2010 à 2080) et réduit les pertes économiques de 19,9 à 137,9 milliards de dollars, mais les pertes résiduelles de 4,6 à 37,1 milliards de dollars subsistent. Les coûts totaux des changements climatiques dans ce cas sont donc de 6,9 à 40,7 milliards de dollars. Bien que les autres études énumérées à l'annexe 6.4 n'en fassent pas explicitement état, une comparaison rapide des résultats dans l'annexe 6.1 et l'annexe 6.2 avec ceux de l'annexe 6.4 révèle la présence de coûts de dommages résiduels dans la plupart des cas, ce qui suggère des limites potentielles, bien qu'indéterminées, à ce que l'adaptation peut accomplir (voir la section 6.8.1). La présence de coûts résiduels ne signifie pas qu'une mesure est mal conçue ou qu'un niveau d'adaptation insuffisant a été mis en œuvre; elle peut simplement indiquer qu'il n'est pas envisageable de viser des dommages résiduels nuls ou que ses coûts excéderaient la valeur financière des dommages évités.

6.8 Il existe des obstacles et des limites économiques à l'adaptation

Il existe toute une série d'obstacles écologiques, technologiques, économiques et institutionnels à l'adaptation, ce qui limite les possibilités de réduire les effets néfastes des changements climatiques et de tirer avantage des nouvelles possibilités. Les gouvernements peuvent jouer un rôle important dans la prise en compte de ces obstacles, même si un niveau d'adaptation économiquement efficace impliquera vraisemblablement certains coûts résiduels.

Outre les contraintes financières, divers obstacles en matière de marché, de comportement et de politique contribuent à créer un écart d'adaptation, c'est-à-dire la différence entre le niveau d'adaptation requis pour compenser tous les effets négatifs des changements climatiques ou pour tirer parti de toutes les nouvelles possibilités. Cette situation est davantage compliquée par les limites écologiques et technologiques de l'adaptation. L'intervention de tous les paliers de gouvernement peut jouer un rôle important pour lever ces obstacles et encourager l'adaptation par d'autres acteurs. Certaines mesures d'adaptation et politiques publiques conçues pour soutenir l'adaptation ne peuvent être justifiées par des raisons économiques (c-à-d. que les coûts sociaux sont supérieurs aux avantages sociaux) ou sont tout simplement trop coûteuses par rapport aux ressources disponibles. Par conséquent, le niveau d'adaptation réalisable, même avec l'intervention de tous les paliers de gouvernement, ne permettra généralement pas de surmonter toutes les conséquences des changements climatiques. Les dommages résiduels feront vraisemblablement partie de toute stratégie d'adaptation économiquement efficace.

6.8.1 Introduction

Tant la théorie que les données probantes indiquent que l'adaptation ne peut neutraliser tous les effets négatifs des changements climatiques, ni saisir tous les effets positifs (Chambwera et coll., 2014; Dow et coll., 2013). Les sections précédentes du présent chapitre soulignent les cas potentiels d'adaptation insuffisante ou inefficace (p. ex. le déficit d'adaptation actuel en ce qui concerne les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada) (voir la section 6.4.2). La présente section examine les obstacles et les limites de l'adaptation d'un point de vue économique. Un obstacle désigne tout type de défi, de problème ou de contrainte susceptible d'entraver ou d'arrêter l'adoption de certaines mesures d'adaptation par les entreprises ou les ménages, mais qui peut être surmonté grâce à un effort concerté; une limite est une contrainte qui ne peut être surmontée sans subir des coûts déraisonnables ou prendre des mesures déraisonnables (Eisenack et coll., 2014; Productivity Commission, 2012).

6.8.2 Les obstacles et les limites de l'adaptation d'un point de vue économique

D'un point de vue économique, on s'attend à ce que les acteurs privés, tels que les entreprises et les ménages, entreprennent une quantité importante de mesures d'adaptation, car ceux-ci modifient leurs décisions et leurs comportements en réaction aux signaux climatiques pour maximiser leur profit ou leur bien-être (Mendelsohn, 2012). Ces réactions comportementales aux stimuli climatiques constituent les prémisses de ce que l'on appelle l'adaptation autonome (Fankhauser, 2017). Par exemple, les gens adaptent leurs destinations de vacances ou leurs dates de voyage en fonction du climat (Hamilton et coll., 2005), et les agriculteurs adaptent leurs cultures ou utilisent des dates de récolte ou d'ensemencement différentes en fonction de l'évolution des régimes des précipitations (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2007).

Cependant, des données probantes montrent que l'adaptation autonome par les entreprises et les personnes n'est pas toujours adéquate ou efficace (Eisenack et coll., 2014; Klein et coll., 2014; Porter et coll., 2014; de Bruin et coll., 2011; Agrawala et coll., 2010). En pratique, il existe de multiples obstacles et limites à l'adaptation privée (Biesbroek et coll., 2013), ce qui signifie que seul un sous-ensemble des besoins d'adaptation peut être réellement satisfait (voir la figure 6.17). Les limites peuvent être d'ordre technologique (p. ex. les équipements de fabrication de neige pourraient ne pas être en mesure de maintenir un enneigement adéquat dans les stations de ski de basse altitude à mesure que le climat se réchauffe), écologique (p. ex. certains écosystèmes et certaines espèces pourraient être incapables de s'adapter à un réchauffement plus rapide), économique (p. ex. le niveau d'adaptation qui se justifie pour des raisons économiques une fois que les coûts du cycle de vie des mesures ont été pris en compte, par rapport aux avantages prévus) et institutionnel (p. ex. le financement et les capacités disponibles) (Chambwera et coll., 2014). L'écart entre le niveau d'adaptation requis pour neutraliser tous les impacts négatifs (ou saisir toutes les occasions) et le potentiel maximal d'adaptation après avoir tenu compte des limites technologiques et écologiques est appelé « impacts inévitables » (Chambwera et coll., 2014). Cependant, ce ne sont pas toutes les mesures visant à surmonter les impacts évitables qui seront soumises à un test coûts-avantages de base, laquelle est révélatrice du potentiel économique de l'adaptation. Les coûts du cycle de vie de certaines mesures d'adaptation dépasseront les coûts économiques évités, ce qui indique que d'autres investissements offrent un meilleur rapport qualité-prix.

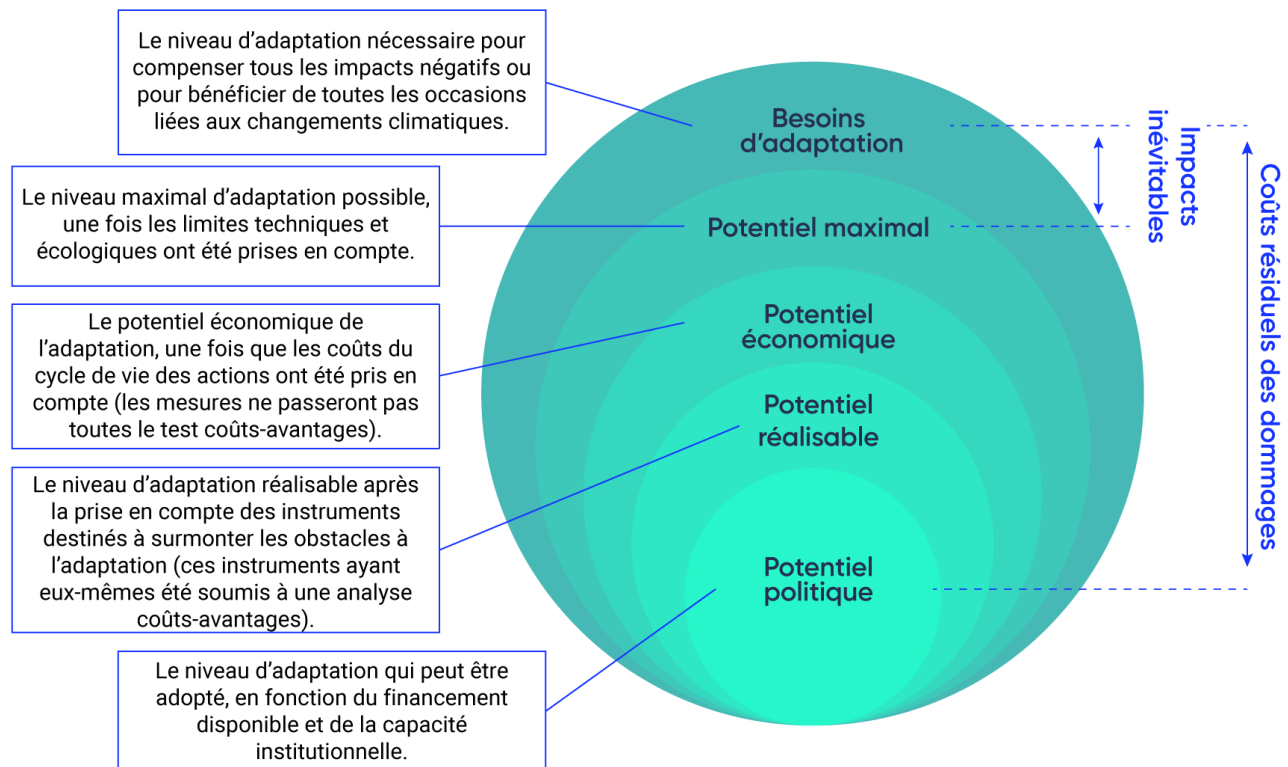


Figure 6.17 : Obstacles économiques et limites au potentiel maximal d'adaptation. Source : Adapté de Chambwera et coll., 2014; US Environmental Protection Agency, 2007.

6.8.2.1 Défaillances du marché

Le fait qu'une mesure d'adaptation satisfasse en théorie à un test coûts-avantages ne signifie pas nécessairement qu'elle sera adoptée dans la pratique. La littérature portant sur l'économie regorge d'une longue liste d'obstacles qui peuvent entraver la capacité des personnes et des entreprises à allouer des ressources à des mesures d'adaptation améliorant le bien-être (Klein et coll., 2014). Il est possible que les marchés ne fournissent pas aux décideurs des renseignements pertinents sur l'ensemble des coûts et des avantages de l'adaptation, ce qui entraîne des niveaux d'investissement inefficaces dans l'adaptation. Cela peut être dû au fait que les renseignements requis sont inadéquats ou ne sont pas uniformément disponibles pour toutes les parties impliquées dans la prise de décisions, mais aussi à la présence d'externalités, de biens publics et d'incitatifs mal alignés, lorsque les avantages de l'adaptation ne reviennent pas à l'individu ou à l'entité qui la paie (voir l'encadré 6.2; Productivity Commission, 2012; Braeuninger et coll., 2011; Ekstrom et coll., 2011; Cimato et Mullan, 2010; Moser et Ekstrom, 2010; Stern, 2006).

Encadré 6.2 : Défaillances du marché et adaptation

Les défaillances du marché sont des imperfections des mécanismes du marché qui conduisent à une allocation inefficace des ressources. Dans le contexte de l'adaptation, les défaillances du marché peuvent entraîner une adaptation moins efficace, des occasions manquées et des coûts plus élevés (Moser et Ekstrom, 2010). Il existe plusieurs raisons pour lesquelles les mécanismes du marché peuvent échouer :

Défaillance en matière d'information

Les acteurs privés peuvent ne pas avoir accès à des renseignements parfaits pour éclairer leurs décisions. Ils peuvent manquer de renseignements sur les risques climatiques actuels et futurs, et sur les diverses mesures d'adaptation à leur disposition. Ils peuvent également ne pas être conscients des coûts et des avantages de ces mesures. Cela rend le processus de prise de décisions efficaces plus difficile. Il peut également y avoir des situations où l'information est connue de certains acteurs (p. ex. les propriétaires), mais pas d'autres (p. ex. les acheteurs potentiels et les assureurs). Cela peut susciter un comportement opportuniste de la part des personnes qui détiennent des informations de qualité supérieure. Par exemple, un propriétaire peut sous-investir dans l'adaptation en pensant que quelqu'un d'autre (assureurs ou gouvernement) s'occupera des impacts éventuels. Dans d'autres situations, comme la gestion de biens ou d'actifs, des incitatifs mal alignés peuvent constituer un problème, là où les coûts de l'adaptation sont assumés par certains acteurs (p. ex. les propriétaires), tandis que les avantages reviennent à d'autres (p. ex. les locataires). Par exemple, un propriétaire n'est guère incité à investir dans des mesures d'économie d'eau lorsque ce sont les locataires qui paient les factures d'eau.

Biens publics

Les marchés ont des difficultés à fournir des biens publics en raison du problème de resquille. Ce problème se pose lorsque des individus peuvent tirer parti de la présence d'un bien ou d'un service sans avoir à contribuer à sa prestation. Parmi les exemples de biens publics dans le cas de l'adaptation, citons la protection des collectivités contre les inondations à grande échelle, les modèles climatiques et les informations sur les impacts des changements climatiques, la santé et la sécurité publiques et la préparation aux situations d'urgence. Ces biens seront insuffisamment fournis ou ne seront pas fournis du tout par les marchés privés. L'une des raisons en est la difficulté d'exclure les non-payeurs de la jouissance des avantages du bien (comme l'infrastructure de protection côtière), ce qui rend difficile la réalisation de tout profit. En outre, pour certains biens et services qui sont touchés par les changements climatiques (comme les écosystèmes), les marchés n'existent pas. Dans ces cas, il n'existe pas de mécanisme de marché pour allouer des ressources à l'adaptation.

Externalités

Les externalités se produisent lorsque les mesures d'adaptation prises par certains individus ont des conséquences inattendues (positives ou négatives) pour d'autres individus, sans qu'il y ait de paiement ou de compensation entre les parties. Cela est dû au fait que les conséquences inattendues ne sont pas prises en compte par les prix du marché. Par exemple, l'utilisation accrue de la climatisation par certains individus en réponse à la hausse des températures extrêmes peut entraîner une augmentation des émissions de GES, une détérioration de la qualité de l'air et des effets néfastes sur la santé pour d'autres individus, bien que les coûts de santé et de bien-être associés ne soient généralement pas assumés par ceux qui utilisent les climatiseurs.

6.8.2.2 Défaillances en matière de comportement

Même lorsque les marchés envoient les bons signaux aux acteurs privés, ces derniers ne font pas nécessairement des choix dans leur intérêt ou celui de la société en général, en raison de plusieurs anomalies et biais comportementaux. Le type, la complexité et le volume des informations disponibles, ainsi que la manière dont elles sont communiquées et par qui, ont tous un impact important sur la probabilité que les gens les lisent, les comprennent et les utilisent efficacement. La capacité cognitive, par exemple, est connue pour avoir une incidence sur notre capacité à prendre des décisions en matière d'adaptation efficaces impliquant des informations complexes et probabilistes (Grothmann et Patt, 2005). D'autres anomalies et biais comportementaux potentiels se manifestent par l'inertie décisionnelle, la procrastination et des taux d'actualisation élevés (p. ex. Boyd et al, 2015). En conséquence, on observe que les individus font des choix qui semblent irrationnels et qui divergent des prévisions de l'économie classique (c.-à-d. des choix qui maximisent les avantages nets ou le bien-être). Ces aspects irrationnels de la prise de décisions sont souvent qualifiés de défaillances en matière de comportement.

6.8.2.3 Défaillances en matière de politique

Les défaillances en matière de politique peuvent également créer des obstacles à l'adoption d'un niveau d'adaptation économiquement efficace (Her Majesty's Government, 2013; Cimato et Mullan, 2010). Ces défaillances surviennent lorsque la réglementation fausse les transactions du marché, incitant ainsi les acteurs privés à sous ou surinvestir dans l'adaptation. Par exemple, les transferts gouvernementaux pour des mesures d'ingénierie dure aux fins de protection contre les inondations et l'aide en cas de catastrophe fournissent des incitatifs qui alimentent un cycle auto-renforcé de croissance continue dans les zones côtières exposées aux inondations, même si le retrait ou l'abandon représente la ligne d'action maximisant le bien-être (Kousky, 2014; Filatova 2013; Filatova et coll., 2011). Les taxes sur les produits d'assurance et les transactions immobilières en sont un autre exemple (Boyd et coll., 2015). Les défaillances en matière de politique peuvent également se produire en présence d'objectifs politiques contradictoires ou concurrents, ou en cas de manque de clarté quant aux objectifs.

6.8.3 Rôle des gouvernements

La présence de défaillances du marché, ainsi qu'en matière de comportement et de politique, signifie que le potentiel économique de l'adaptation n'est pas pleinement réalisé. Cela crée un rôle clé pour le gouvernement (Fankhauser, 2017) :

- Premièrement, éliminer les distorsions politiques qui font obstacle à des choix d'adaptation économiquement efficaces pris par des acteurs privés : par exemple, pour réformer (p. ex. réduire, restructurer ou éliminer) les subventions qui alimentent le cycle auto-renforcé de la croissance continue dans les zones côtières ou riveraines exposées aux inondations (Boyd et coll., 2015).
- Deuxièmement, utiliser des instruments réglementaires et économiques pour surmonter les défaillances du marché et en matière de comportement, et fournir des incitatifs à une adaptation privée efficace (p. ex. Boyd et coll., 2015; Hotte et Nelson, 2015). En ce qui concerne l'utilisation d'instruments économiques pour inciter à l'adaptation, il est important que la conception de ces instruments tienne compte des défaillances courantes en matière de comportement qui sont susceptibles de nuire à leur efficacité (Boyd et coll. 2015).
- Troisièmement, offrir des biens et services publics dédiés à l'adaptation, comme la production et la diffusion de renseignements sur le climat, les dépenses pour les programmes de recherche et de surveillance, les investissements dans la protection contre les inondations à grande échelle, les systèmes d'alerte précoce pour les collectivités, l'amélioration de la planification et de la préparation aux situations d'urgence, et l'élaboration de politiques visant à renforcer la résilience des écosystèmes.

Cependant, les formes d'intervention gouvernementale ne sont pas toutes judicieuses dans une perspective économique. Il est également nécessaire de démontrer que les avantages découlant de ces interventions dépassent les coûts de mise en œuvre pour les acteurs privés et le gouvernement (Productivity Commission, 2012). Après avoir pris en compte l'efficacité des instruments réglementaires et économiques destinés à lever les obstacles à une adaptation efficace, ces instruments ayant eux-mêmes passé un test coûts-avantages, seulement un certain niveau d'adaptation est réalisable (voir la figure 6.11).

Certains individus, entreprises ou collectivités peuvent être incapables de se permettre ou de financer les investissements nécessaires aux mesures d'adaptation prévues, même s'ils savent qu'il est dans leur intérêt de le faire (Lecocq et Shalizi, 2007)⁹. Un autre rôle du gouvernement est d'aider les groupes et collectivités vulnérables et défavorisés qui n'ont pas accès aux ressources nécessaires pour s'adapter suffisamment (Fankhauser, 2017). Parallèlement, les gouvernements seront eux aussi confrontés à des contraintes financières et de capacité, et devront répartir les ressources entre des besoins concurrents. Lorsqu'un niveau d'adaptation économiquement efficace est atteint après avoir pris en compte les contraintes techniques,

9 Les défaillances du marché peuvent également se produire dans les systèmes financiers (p. ex. si un emprunteur potentiel dispose de meilleures informations sur sa capacité à rembourser un prêt que le prêteur lui-même) et peuvent limiter le montant qu'une personne ou une entreprise peut emprunter, ou entraîner des conditions de financement et des taux d'intérêt défavorables.

sociales et écologiques, des dommages résiduels peuvent néanmoins survenir. Le fait qu'une certaine quantité de dommages résiduels puisse être inévitable donne lieu à une série d'importants enjeux d'éthique et de justice sociale qui sont au cœur du discours sur les « pertes et dommages » au niveau international, faisant référence aux impacts inévitables au-delà des limites de l'adaptation (van der Geest et Warner, 2015). Bien qu'une discussion sur ces enjeux dépasse le cadre de ce chapitre (voir Wallimann-Helmer et coll., 2019 pour un aperçu des principaux défis en matière d'éthique et de justice), le gouvernement peut également avoir un rôle dans la définition de ce qui constitue un niveau acceptable de dommages résiduels et la meilleure façon de concilier les effets sur le bien-être de ces impacts inévitables.

6.9 Aller de l'avant

Les décideurs exigent de plus en plus d'informations sur la variété des données probantes disponibles pour définir les coûts des changements climatiques pour le Canada, ainsi que la valeur nette des différentes mesures d'adaptation afin d'éclairer l'analyse de rentabilité des mesures. On constate une augmentation du volume et de la qualité des données sur les coûts des changements climatiques et sur les coûts et avantages de l'adaptation. Cela reflète l'importance croissante des informations économiques pour les décideurs. Cependant, il existe également de nombreuses lacunes dans les connaissances, ce qui laisse entrevoir le potentiel d'un nouveau programme de recherche fécond.

6.9.1 Les coûts de l'inaction

Il reste encore beaucoup à apprendre sur les coûts des changements climatiques pour le Canada, tant au niveau global que pour des secteurs, régions, collectivités et populations vulnérables donnés. Les projections de l'ensemble des conséquences économiques résultant des changements climatiques pour le Canada sont très incertaines. Tandis que certains exercices de modélisation simplifiés et très agrégés prévoient des gains nets pour l'économie du Canada, d'autres prévoient des pertes nettes. Des recherches supplémentaires s'imposent pour pouvoir dissiper l'incertitude entourant le coût global des changements climatiques pour le Canada.

Les décisions en matière d'adaptation sont en grande partie prises au niveau local ou provincial, où l'état actuel des connaissances concernant le coût de l'inaction est très fragmenté. Il existe d'importantes lacunes dans les connaissances en ce qui concerne les provinces des Prairies, les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon et le Nunavut, l'intérieur de la Colombie-Britannique, l'Ontario, ainsi que les peuples des Premières Nations, les Inuits et les Métis. Par ailleurs, il n'existe des estimations de haute qualité des conséquences économiques que pour quelques villes canadiennes. Étant donné que la plupart des processus décisionnels en matière d'adaptation se déroulent au niveau local, une priorité pour les recherches futures devrait être non seulement de remédier à l'incertitude entourant les conséquences économiques globales pour le Canada, mais aussi d'améliorer la couverture géographique et la portée des estimations des dommages pour les municipalités, ainsi que le niveau de désagrégation par secteurs, par biens et services, et par risques aux changements

climatiques. Il est donc nécessaire d'adopter une approche ascendante et multisectorielle qui remédie à plusieurs lacunes transversales dans la littérature actuelle. Les recommandations pour l'élaboration de nouvelles études économiques sont les suivantes :

Études prenant en compte une gamme plus large de dangers liés aux changements climatiques : La plupart des projections globales disponibles au niveau national (et la plupart des projections régionales) sont axées sur les impacts liés aux changements climatiques à évolution lente (c.-à-d. les changements graduels de température et de précipitations, et certains impacts biophysiques qui en découlent). Les futures enquêtes sur les conséquences économiques bénéficieraient d'une attention accrue sur les événements extrêmes et les catastrophes (c.-à-d. les événements à faible probabilité et à conséquences élevées).

Études prenant en compte une gamme plus large de secteurs sensibles au climat : Certains secteurs sont mieux représentés que d'autres dans la littérature actuelle portant sur l'économie. Une série d'estimations sont disponibles pour les zones côtières, l'agriculture et la foresterie. Pour d'autres secteurs, notamment le tourisme, le travail, les ressources en eau et la santé publique, seules quelques estimations incomplètes sont disponibles. Il existe également des lacunes importantes dans notre compréhension des conséquences économiques des changements climatiques sur la santé publique. D'autres secteurs ne sont pas encore représentés dans la littérature, comme les écosystèmes, la pêche, les infrastructures énergétiques (y compris le pétrole et le gaz), les infrastructures de transport (y compris le rail, l'air et les ports), la qualité de l'eau et la sécurité (p. ex. les crimes, les migrations, les conflits).

Études prenant en compte une gamme plus large d'impacts économiques : Une évaluation complète des conséquences économiques permettrait de prendre en compte les impacts liés au marché et non liés au marché. Une conséquence importante des changements climatiques sur le bien-être est la perte de biens et de services qui ne sont pas commercialisés sur les marchés et qui ne peuvent donc pas être évalués à l'aide des prix du marché ou saisis par des modèles IEG. Parmi les exemples d'impacts économiques à plus grande portée qui méritent d'être étudiés figurent la perte d'espèces, la douleur et l'inconfort, la perte du patrimoine culturel, les conflits et les migrations forcées. Même si elles sont largement omises dans les estimations actuelles, ces pertes de bien-être peuvent être considérables. Des recherches sont nécessaires pour s'assurer qu'elles sont mieux représentées dans les estimations futures des impacts économiques.

Études prenant en compte des impacts intersectoriels : Il existe un grand nombre d'impacts intersectoriels potentiellement importants qui ne sont pas bien saisis, en particulier dans le cadre d'une approche ascendante et multisectorielle. Par exemple, l'eau est utilisée pour produire de l'électricité (p. ex. pour le refroidissement thermique) et l'électricité est utilisée pour fournir de l'eau (p. ex. pour faire fonctionner les stations de pompage). Ces liens sont généralement omis des estimations. Certaines interactions non biophysiques se produisent par des mécanismes de marché et peuvent être saisies à l'aide de modèles IEG, par exemple. D'autres interactions ne fonctionnent pas de cette manière, notamment lorsque les dommages aux écosystèmes amplifient d'autres impacts. Des recherches sont nécessaires pour comprendre quels liens intersectoriels sont économiquement importants au niveau local ou régional, et devraient donc être pris en compte dans la prochaine génération d'estimations.

Études prenant en compte des développements socio-économiques : Une conclusion importante de la littérature actuelle concerne l'importance des changements socio-économiques futurs (p. ex. la croissance des populations, des biens et des richesses) comme facteur clé de l'ampleur absolue des coûts économiques

prévus. Malgré le rôle avéré de ce type de changement en tant que déterminant du coût de l'inaction, l'avenir socio-économique est abordé soit de manière incomplète ou est tout simplement omis dans de nombreuses études actuelles.

6.9.2 Les coûts et les avantages de l'adaptation

Les connaissances relatives à l'évaluation des coûts et des avantages de l'adaptation au Canada sont actuellement limitées à quelques secteurs sensibles au climat, ce qui signifie que seule une gamme étroite d'adaptations à un ensemble limité d'impacts liés aux changements climatiques dans des régions particulières a été prise en compte jusqu'à présent. De plus, les études existantes sont presque exclusivement ciblées sur le secteur public. Par conséquent, malgré les résultats prometteurs des études existantes (voir la section 6.7.1), il n'est pas possible de faire des généralisations sur l'attrait économique des mesures d'adaptation dans tous les contextes. Il y a beaucoup à apprendre sur les coûts et les avantages de l'ensemble des mesures d'adaptation qui seront probablement nécessaires pour gérer les effets des changements climatiques à des seuils tolérables. Des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre l'efficacité économique des mesures de renforcement des capacités et des interventions de politique publique visant à surmonter les obstacles à l'adaptation. Cela implique de comprendre comment les connaissances de l'économie comportementale peuvent être utilisées pour améliorer la conception et l'efficacité des politiques afin d'inciter à la mise en œuvre des niveaux souhaitables d'adaptation privée. Parallèlement, il est nécessaire de mieux comprendre les politiques publiques actuelles qui favorisent la mauvaise adaptation; il est crucial de remédier aux défaillances en matière de politiques actuelles si l'on veut que les interventions visant à encourager l'adaptation soient efficaces.

Bien que, dans un contexte de grandes incertitudes, la théorie favorise les mesures d'adaptation « douces », à court terme, flexibles et relativement peu coûteuses, par rapport aux mesures d'adaptation « dures », à long terme et à forte intensité de capital, il faut encore que des applications pratiques au Canada démontrent quelles mesures d'adaptation ont le plus de mérite, et dans quelles circonstances. Des études de cas sont nécessaires pour mieux comprendre les avantages économiques de l'échelonnement des décisions en matière d'adaptation dans le temps en fonction de multiples scénarios prospectifs, plutôt que de prendre une seule décision qui semble optimale dans l'immédiat. Tous les exemples actuels de « preuve de principe » sont internationaux.

Les évaluations économiques actuelles accordent peu d'attention aux enjeux de répartition entre les différents acteurs, et à l'économie politique de l'adaptation (c.-à-d. à la manière dont les décisions en matière d'adaptation sont prises, en tenant compte des facteurs politiques, culturels et économiques). L'adaptation, comme toute forme d'intervention, aura généralement des gagnants et des perdants, bien qu'aucune des études économiques qui ont été formellement examinées n'ait pris en compte la répartition des coûts et des avantages entre les acteurs. Les impacts de la répartition des coûts et des avantages étant un sujet de discussion important dans les débats locaux, provinciaux et nationaux sur la politique liée aux changements climatiques, une meilleure compréhension de ces impacts aiderait à la fois à concevoir des mesures d'adaptation et à progresser vers leur mise en œuvre.

Enfin, la prise de conscience du coût de l'adaptation aux changements climatiques au Canada ne fait que commencer. Cet éveil a été rendu possible grâce à deux études récentes sur le niveau d'investissement nécessaire pour adapter les infrastructures publiques aux changements climatiques au niveau national (Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités, 2020) et au Québec (Groupe AGECO, 2019). Cependant, de nombreuses lacunes dans les connaissances subsistent. À titre d'exemple, il n'existe aucune information au niveau global sur l'investissement nécessaire pour adapter d'autres secteurs économiques aux impacts anticipés des changements climatiques. Même en ce qui concerne les infrastructures publiques, on comprend mal les besoins d'investissement en matière d'adaptation pour certaines parties du pays (p. ex. la Colombie-Britannique et le Nunavut) et pour les grands centres de population. Ces lacunes en matière de connaissances rendent difficile de déterminer l'ampleur de l'effort d'adaptation requis, la manière dont il devrait être financé et, en conjonction avec les estimations des avantages de l'adaptation, la manière dont les fonds disponibles devraient être déployés.

6.9.3 Nouveaux enjeux

Le cadre de la prise de décisions en matière d'adaptation est en train de changer, ce qui a une incidence sur l'économie de l'adaptation. Alors que l'approche prédominante pour aborder les étapes d'évaluation et de planification d'un cadre de gestion adaptative des risques était historiquement basée sur une approche préconisant les connaissances scientifiques (ou « descendante »), la littérature portant sur l'économie a récemment évolué vers un processus analytique privilégiant les politiques (ou approche « ascendante ») et mettant l'accent sur les mesures précoces (voir la section 6.2.3).

Cette évolution a des conséquences importantes pour l'analyse économique des mesures d'adaptation et nécessite la mise au point et l'application d'autres outils d'aide à la prise de décisions. Lorsque la prise en compte d'incertitudes profondes concernant les impacts futurs est importante et que les décideurs recherchent des options flexibles ou robustes, de nouveaux outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie tels que les profils d'évolution de l'adaptation, l'analyse des options réelles, la prise de décisions solides et l'analyse de portefeuille sont plus appropriés pour l'évaluation économique que les outils classiques comme l'ACA (voir la section 6.2.5).

L'importance accrue accordée au renforcement des capacités, aux interventions comportementales et à la valeur de l'information dans le cadre de l'approche centrée sur les politiques crée également des défis pour l'évaluation des coûts et des avantages en terme monétaire, nécessitant des approches différentes de quantification des impacts physiques et de leur évaluation subséquente. La considération accrue du processus d'adaptation met également davantage l'accent sur la compréhension des obstacles et des limites économiques à une adaptation efficace (p. ex. les défaillances du marché et en matière de comportement et de politique), ainsi que sur les coûts et les avantages des interventions gouvernementales destinées à surmonter ces obstacles (voir la section 6.8). Pour concevoir des interventions politiques efficaces, il faut comprendre les réactions comportementales aux différents incitatifs. Bref, l'aide à la prise de décisions en matière d'économie s'adapte elle-même pour répondre à l'évolution des besoins des décideurs.

Il est de plus en plus reconnu qu'un niveau d'adaptation efficace est limité par d'autres facteurs que les enjeux d'accessibilité financière. Une combinaison de défaillances du marché (p. ex. manque d'informations

de qualité et accessibles sur les risques pertinents et les mesures d'adaptation, ou présence de biens publics ou d'externalités), d'anomalies comportementales (p. ex. capacité cognitive, inertie, taux d'actualisation élevés) et de distorsions dominantes en matière de politiques (p. ex. des subventions qui favorisent ultimement la mauvaise adaptation) limite le potentiel d'adaptation (voir la section 6.8). Tous les paliers de gouvernement doivent faire plus que de fournir une aide financière et d'investir dans des biens publics (tels que les services d'information sur le climat). Parmi les autres mesures importantes à prendre figure l'élimination des distorsions existantes en matière de politiques, ainsi que la conception et la mise en œuvre de règlements et d'instruments économiques permettant de surmonter les imperfections pertinentes en matière de marché et les défaillances en matière de comportement. Étant donné le potentiel de préoccupations importantes en matière d'éthique et de justice sociale, il est tout aussi important que les gouvernements réfléchissent à ce que serait un niveau acceptable de dommages résiduels et à la meilleure façon de traiter les effets des impacts inévitables sur le bien-être.

Un autre sujet de discussion dans la littérature portant sur l'économie est la mesure dans laquelle les conséquences économiques des changements climatiques pourraient être beaucoup plus importantes que ne le suggèrent les projections actuelles, non pas en raison des limites des modèles d'émissions et d'impacts des changements climatiques, qui omettent des risques importants, mais en raison de la manière dont les modèles économiques traitent les dommages et la croissance. L'enjeu est de savoir si le niveau de la production économique est réduit par un choc ou un stress climatique, mais que le taux de croissance économique sous-jacent n'est pas touché, ou si les changements climatiques ont un impact cumulatif plus persistant sur le taux de croissance lui-même. Jusqu'à récemment, la plupart des estimations du coût des changements climatiques étaient basées sur des pertes statiques de production économique annuelle. Toutefois, si les changements climatiques causent des dommages durables au capital-actions, aux terres et à l'efficacité avec laquelle ces facteurs et la main-d'œuvre sont transformés en production économique, comme le suggèrent certains chercheurs, alors le taux de croissance annuel sera touché en plus du niveau de production. En raison des effets cumulés de la réduction de la croissance, les impacts sur la production économique seront beaucoup plus importants et persistants. Le débat demeure non résolu dans la littérature.

6.10 Conclusion

Ce chapitre a évalué l'état des connaissances et des pratiques en matière d'impacts des changements climatiques et d'économie de l'adaptation au Canada. Les informations sur les conséquences économiques des changements climatiques, ainsi que sur les coûts et les avantages des mesures d'adaptation, sont de plus en plus demandées par une grande variété de décideurs. Dans un cadre de gestion adaptative des risques, les informations économiques peuvent être utilisées pour sensibiliser à la nécessité d'allouer des ressources à la planification de l'adaptation, ainsi que pour éclairer la priorisation des risques et des vulnérabilités climatiques actuels et futurs. Les informations économiques peuvent également être utilisées pour éclairer la sélection et le volume des ressources allouées aux mesures d'adaptation. Dans l'ensemble, la quantité, la complexité et la qualité des connaissances sur ce sujet au Canada sont à la hausse. Nous

savons désormais beaucoup de choses sur les coûts potentiels des changements climatiques pour certaines régions, certains secteurs et certaines villes. Il existe également de solides arguments économiques en faveur des investissements dans l'adaptation dans des contextes particuliers. Si l'état des connaissances et des pratiques s'améliore, il est clair que la base de données probantes est encore très fragmentée et qu'il subsiste d'importantes lacunes en matière de connaissances et de couverture.

Il existe des preuves d'un déficit ou d'un écart d'adaptation au Canada, comme en témoigne le fait que les ménages, les entreprises et les infrastructures, etc. sont sous-adaptés aux conditions et à la variabilité climatiques actuelles. Les pertes en hausse ne s'expliquent pas toutes par des facteurs comme l'augmentation des expositions au risque, la valeur des actifs et l'inflation générale des prix, ce qui laisse supposer que les changements climatiques pourraient jouer un rôle à cet égard et présager des niveaux de pertes croissants auxquels on peut s'attendre à l'avenir avec l'intensification prévue des changements climatiques. Les projections des coûts futurs des changements climatiques pour le Canada confirment-elles cette conjecture? En résumé, la réponse est oui. La plupart des données probantes indiquent que les changements climatiques imposeront des pertes de bien-être globales croissantes pour les Canadiens, bien que des gains de bien-être soient attendus dans certains secteurs et dans certaines régions du pays.

À l'avenir, il est prévu que les changements climatiques imposent des coûts économiques substantiels aux différents secteurs et régions. Dans le cadre de scénarios à fortes émissions sans nouvelles mesures d'adaptation, les coûts économiques dans certains secteurs et régions pourraient s'élever à des centaines de millions, voire des dizaines de milliards de dollars par an d'ici les années 2050, et encore plus d'ici la fin du siècle (TRNEE, 2011). Les secteurs et régions touchés comprennent la foresterie, les zones côtières, la santé publique, les stations de ski, le transport maritime, la production d'hydroélectricité, le traitement des eaux municipales et les propriétés riveraines dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Les projections des conséquences économiques pour l'agriculture varient. La plupart des études prévoient des avantages économiques des impacts des changements climatiques sur les cultures, notamment dans les provinces des Prairies. La contrepartie est que ces études ne considèrent que les changements dans des conditions moyennes et ne tiennent pas compte des impacts négatifs associés aux changements climatiques et aux extrêmes météorologiques. Pour les quelques villes pour lesquelles des informations sont disponibles, on prévoit que les changements climatiques auront des conséquences économiques négatives.

Les conséquences économiques des changements climatiques pour le Canada peuvent être évaluées à différentes échelles spatiales (nationale, provinciale/territoriale, régionale, municipale) et sectorielles (mono- ou multisectorielle). À chaque échelle, les évaluations des coûts peuvent également différer de manière importante en termes de portée, c'est-à-dire en fonction des impacts liés aux changements climatiques considérés (p. ex. un ou plusieurs impacts à déclenchement lent ou à déclenchement rapide), des types de coûts mesurés (p. ex. directs, indirects, macroéconomiques, liés au marché, non liés au marché) et des délais (p. ex. à court, moyen et long terme). En général, les études existantes sur l'impact économique des changements climatiques ont été très limitées dans leur portée et leur couverture sectorielle. Des coûts de dommages plus élevés sont anticipés par des études de plus grande envergure, qui ont pris en compte les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes en plus des impacts des changements climatiques à évolution lente, saisi les impacts sur de multiples secteurs, inclus les impacts non liés au marché et mesuré les impacts sur le bien-être des Canadiens (plutôt que les changements dans le PIB). Si les évaluations

des coûts avaient une portée plus globale, les coûts estimés des changements climatiques pour le Canada seraient probablement beaucoup plus élevés que ce que suggèrent les études actuelles.

Les évaluations économiques des mesures d'adaptation au Canada montrent que les avantages dépassent généralement les coûts, bien que les résultats dépendent grandement du contexte. Sur un échantillon restreint de 60 évaluations de mesures (principalement dans le cadre municipal) visant à réduire les effets des inondations côtières, des faibles niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, de la réduction de l'approvisionnement en bois, du stress thermique et de la mauvaise qualité de l'air à Toronto, 75 % des mesures ont passé un test coûts-avantages. Le rapport médian avantages-coûts était de 5,6:1 (1,5:1), c'est-à-dire que chaque dollar dépensé pour la réduction des risques a généré, en moyenne, 5,60 \$ en avantages (voir la section 6.7.2). De tels rendements de capital investi dans l'adaptation sont cohérents avec l'expérience internationale.

Plusieurs observations peuvent être tirées des données probantes disponibles. Tout d'abord, parmi l'échantillon de mesures d'adaptation qui ont été évaluées, les mesures d'adaptation « douces » offraient un meilleur rapport qualité-prix que les mesures d'ingénierie « dures », principalement en raison des coûts d'investissement plus faibles et de la propension à offrir des avantages connexes plus importants. Un certain nombre de ces mesures sont également considérées comme des solutions fondées sur la nature, dans la mesure où ces mesures visent à renforcer et à protéger les écosystèmes existants. Deuxièmement, la performance économique des mesures d'adaptation dépend grandement du site et du contexte, de sorte qu'une mesure qui passe le test coûts-avantages à un endroit peut échouer à un autre endroit, et les résultats ne sont généralement pas transférables. Troisièmement, l'adaptation n'annule généralement pas tous les coûts liés aux changements climatiques, c'est-à-dire que certains coûts résiduels liés aux dommages persistent. Ce dernier point met en évidence les limites écologiques, technologiques et économiques potentielles de l'adaptation. Cela implique également que même avec un niveau d'adaptation efficace économiquement, les niveaux de bien-être peuvent rester inférieurs à ce qu'ils seraient en l'absence de changements climatiques. Le fait qu'un certain niveau de perte puisse être inévitable présente une série de défis éthiques et de justice sociale, exigeant des gouvernements qu'ils définissent ce qu'est un niveau acceptable de dommages résiduels et la meilleure façon de concilier les effets de ces impacts inévitables sur le bien-être.

Dans l'ensemble, les arguments économiques en faveur de l'adaptation semblent prometteurs, même si les données probantes sont incomplètes. Il reste encore beaucoup à apprendre sur les coûts et les avantages de l'adaptation aux changements climatiques actuels et futurs dans un plus grand nombre de secteurs (y compris le secteur privé), sur une plus grande gamme de risques et sur la nécessité d'envisager un ensemble plus large de mesures, notamment des instruments réglementaires et économiques. On sait peu de choses sur la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation. Toutes les études actuelles examinées dans ce chapitre sont des évaluations prospectives des mesures d'adaptation largement hypothétiques qui pourraient, en principe, être adoptées. Aucun des résultats n'est issu d'évaluations rétrospectives des mesures mises en œuvre; les résultats sont donc plus représentatifs du « potentiel économique » théorique de l'adaptation, par opposition au « potentiel politique » qui est plus réaliste (voir la figure 6.11).

Étant donné la diversité des objectifs, des intérêts, des connaissances et des valeurs que les décideurs apportent désormais aux décisions en matière d'adaptation aux changements climatiques, il n'est pas suffisant de fournir des projections des coûts et des avantages financiers quantifiables. Il existe de

nombreux outils économiques disponibles qui peuvent soutenir des évaluations multimétriques, bien que seules des formes simples de l'ACA traditionnelle aient été appliquées jusqu'à présent. Tout d'abord, il existe des approches permettant de saisir les impacts sur la répartition, les enjeux d'équité intergénérationnelle, les impacts connexes et les impacts non liés au marché dans les outils traditionnels comme l'ACA.

Deuxièmement, l'économie offre un ensemble de nouvelles approches qui fonctionnent avec des outils traditionnels tels que l'ACA pour fournir un soutien utile à la prise de décisions en matière d'adaptation dans un contexte d'incertitude profonde, en incorporant l'échelonnement des mesures sur de longues périodes et le potentiel d'apprentissage. Chacun des outils disponibles présente des forces et des faiblesses uniques en fonction du contexte de la décision en matière d'adaptation et du niveau d'incertitude. Il n'existe pas de « meilleure » approche unique pour l'évaluation économique des mesures d'adaptation.

Le choix de l'outil ou des outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie peut être propre à chaque cas, mais la littérature recense plusieurs excellentes pratiques qui permettent de réaliser une bonne analyse économique, en particulier les suivantes : couvrir une large représentation d'impacts climatiques et biophysiques donnés, y compris les impacts extrêmes à déclenchement rapide et ceux à déclenchement lent; prendre en compte les évolutions socio-économiques prévues; envisager de multiples mesures d'adaptation « dures » et « douces », y compris l'analyse des obstacles à leur adoption efficace, et les interventions pour écarter ces obstacles; étudier les sources d'incertitude climatiques et non climatiques, y compris la prise en compte de l'échéancier et de l'échelonnement des mesures en utilisant de nouveaux outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie dans l'incertitude (p. ex. les profils d'évolution de l'adaptation, l'analyse des options réelles); l'analyse des coûts du cycle de vie (y compris les coûts de transaction) et des avantages dans le cadre le plus large possible des impacts liés au marché et non liés au marché; et l'analyse des impacts sur la répartition des populations vulnérables, les groupes défavorisés et les générations futures.

6.11 Références

- Ackerman, F. et Stanton, E. (2006). « Climate Change – the costs of inaction ». Rapport pour Friends of the Earth England, Wales and Northern Ireland. Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford, Massachusetts, 38 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <http://frankackerman.com/publications/climatechange/Climate_Change_Costs_Inaction.pdf>
- AGECO Group (2019). Vers de grandes villes résilientes: le coût de l'adaptation aux changements climatiques. Groupe AGECO, Montréal, Québec, 25 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://umq.qc.ca/wp-content/uploads/2019/05/adaptations-chgt-climat-caucus-gdes-viles-10mai19b.pdf>>
- Agence européenne pour l'environnement (2007). « Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation ». Rapport technique de l'AEE no 13/2007, Agence européenne pour l'environnement (AEE), Copenhague, Danemark, 67 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_13/at_download/file>
- Agrawala, S., Carraro, C., Bosello, F. et de Bruin, K. (2010). « Plan or react? Analysis of adaptation costs and benefits using integrated assessment models ». OECD Environment Working Papers, n° 23, Éditions OCDE, Paris, France. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1787/5km975m3d5hb-en>>
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C., De Cian, E., Lanzi, E., de Bruin, K. et Dellink, R.B. (2011). « Plan or react? Analysis of adaptation costs and benefits using Integrated Assessment Models ». *Climate Change Economics*, 2(3), 175–208. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1142/S2010007811000267>>
- Alder, M. (2016). « Benefit-cost analysis and distributional weights: an overview ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 264–285. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://scholarship.law.duke.edu/faculty_scholarship/3110>
- Amiraslany, A. (2010). « The impact of climate change on Canadian agriculture: a Ricardian approach ». Thèse de doctorat, Department of Bioresource Policy, Business and Economics, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, 169 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://harvest.usask.ca/handle/10388/etd-05252010-102012>>
- Aon (2020). « Weather, climate and catastrophic insight: 2019 annual report ». Aon plc, Chicago, Illinois, États-Unis, 80 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.aon.com/global-weather-catastrophe-natural-disasters-costs-climate-change-2019-annual-report/index.html?utm_source=regionemeauk&utm_campaign=natcat20>
- Arrow, K.J., Cline, W.R., Maler, K.G., Munasinghe, M., Squitieri, R. et Stiglitz, J.E. (1996). « Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency », Chapitre 5 dans *Climate Change 1995: Economic and social dimensions of climate change (Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, J.P. Bruce, H. Lee et E.F. Haites (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts, 125–144. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg3/#report-chapters>>
- Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G.M., Newell, R.G., Nordhaus, W.D., Pindyck, R.S., Pizer, W.A., Portney, P.R., Sterner, T., Tol, R.S.J. et Weitzman, M.L. (2012). « How should benefits and costs be discounted in an intergenerational context? The views of an expert panel ». Resources for the Future Discussion Paper No.12-53, Washington, D.C., 31 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2199511>
- Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G.M., Newell, R.G., Nordhaus, W.D., Pindyck, R.S., Pizer, W.A., Portney, P.R., Sterner, T., Tol R.S.J. et Weitzman, M.L. (2014). « Should governments use a declining discount rate in project analysis? » *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(2), 145–163. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/reu008>>
- Asian Development Bank (2015). « Economic analysis of climate-proofing investment projects ». Mandaluyong, Philippines, 85 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/173454/economic-analysis-climate-proofing-projects.pdf>>
- Aubé, M., Hébert, C., Wilson, J., Trenholm, R. et Patriquin, M. (2016). « Cost benefit analysis of climate change adaptation strategies for the Acadian Peninsula ». Green Analytics and the Coastal Zones Research Institute Inc., Shippagan, Nouveau-Brunswick, 87 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://adaptationpa.ca/images/PDF_-_Progression/R-Cost_Benefit_Analysis_of_Climate_Change_Adaptation_Strategies.pdf>
- Ayouqi, H. et Vercaemmen, J. (2014). « Evaluating the impact of climate change on Canadian prairie agriculture ». Linking Environment and Agriculture Research Network (LEARN). Projet de recherche PR-01-2014, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, 18 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://learnnetwork.ualberta.ca/wp-content/uploads/sites/70/2018/07/PR_01_2014_Ayouqi-Vercaemmen.pdf>
- Azfar, O. (1998). « Rationalizing hyperbolic discounting ». *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 38 (2), 245–252. Consulté en avril 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0167-2681\(99\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0167-2681(99)00009-8)>

- Bain, P.G., Milfont, T.L., Kashima, Y., Bilewicz, M., Doron, G., Garðarsdóttir, R.B., Gouveia, V.V., Guan, Y., Johansson, L.-O., Pasquali, C., Corral-Verdugo, V., Aragoñes, J.I., Utsugi, A., Demarque, C., Otto, S., Park, J., Soland, M., Steg, L., González, R., Lebedeva, N., Madsen, O.J., Wagner, C., Akotia, C.S., Kurz, T., Saiz, J.L., Wesley Schultz, P., Einarsdóttir, G. et Saviolidis, N.M. (2015). « Co-benefits of addressing climate change can motivate action around the world ». *Nature Climate Change*, 6, 154–157. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2814>>
- Berry, P., Yassin, F., Belcher, K. et Lindenschmidt, K. E. (2017a). « An economic assessment of local farm multi-purpose surface water retention systems under future climate uncertainty ». *Sustainability*, 9(3), 456. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su9030456>>
- Berry, P., Yassin, F., Belcher, K. et Lindenschmidt, K. E. (2017b). « An economic assessment of local farm multi-purpose surface water retention systems in a Canadian Prairie setting ». *Applied Water Science*, 7(8), 4461–4478. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13201-017-0592-7>>
- Biesbroek, G.R., Klostermann, J.E.M., Termeer, C.J.A.M. et Kabat, P. (2013). « On the nature of barriers to climate change adaptation ». *Regional Environmental Change*, 13, 1119–1129. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-013-0421-y>>
- Bloemen, P., Reeder, T., Zevenbergen, C., Rijke, J. et Kingsborough, A. (2018). « Lessons learned from applying adaptation pathways in flood risk management and challenges for the further development of this approach ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23, 1083–1108. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-017-9773-9>>
- Boardman, A.E., Moore, M.A. et Vining, A.R. (2008). « Social Discount Rates for Canada ». Université de la Colombie Britannique et Université Simon Fraser, Vancouver, 28 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/236935295_The_Social_Discount_Rate_in_Canada>
- Bosello, F., Roson, R. et Tol, R. (2006). « Economy-wide estimates of the implications of climate change: human health ». *Ecological Economics*, 58, 579–591. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.032>>
- Bouwer, L.M. (2011). « Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 39–46. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/2010BAMS3092.1>>
- Boyd, R. (2018). « Economic impacts of climate change on municipalities: Edmonton case study ». Fédération canadienne des municipalités (FCM) Réseau de gestion des actifs et des changements climatiques, webinaire le 26 novembre.
- Boyd, R., Gados, A. et Maynes, T. (2013). « Economic guidance for the appraisal and prioritization of adaptation actions ». Rapport préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, Climate Change Central, Calgary, Alberta, 242 p.
- Boyd, R. et Walton, H. (2006). « Water resources », Chapitre 9 dans *Climate change impacts and adaptation: cross-regional research programme project*. Rapport par Metroeconomica Limited (UK) pour le Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Londres, Royaume-Uni. Consulté en août 2020 sur le site <<http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=13231>>
- Boyd, R., Zukiwsky, J. et Pringle, T. (2015). « Economic tools for climate adaptation: private real estate decisions ». Rapport préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, All One Sky Foundation, Calgary, Alberta, 139 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.retooling.ca/_Library/ReTooling_Resource_Library/Economic_Tools_for_Climate_Change_Adaptation.pdf>
- Boyer-Villemare, U., Circé, M., Da Silva, L., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016). Analyses coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec et dans les provinces atlantiques : rapport synthèse. Ouranos, Montréal, 33 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Synth%c3%a8se_Atl-Oc.pdf>
- Braeuninger, M., Butzengeiger-Geyer, S., Dlugolecki, A., Hochrainer-Stigler, S., Koehler, M., Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R. et Michaelowa, A. (2011). « Application of economic instruments for adaptation to climate change ». Rapport final, Bruxelles, Belgique. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Michael_Braeuninger/publication/248399515_Application_of_economic_instruments_for_adaptation_to_climate_change_Final_report/links/53e0041b0cf2a768e49ea3dc/Application-of-economic-instruments-for-adaptation-to-climate-change-Final-report.pdf>
- Brown, C., Werick, W., Leger, W. et Fay, D. (2011). « A decision-analytic approach to managing climate risks: application to the Upper Great Lakes ». *Journal of the American Water Resources Association*, 47, 524–534. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00552.x>>
- Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités (2020). Investir dans l'avenir du Canada: le coût de l'adaptation au changement climatique. Toronto et Ottawa, Ontario, 59 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://data.fcm.ca/documents/reports/investir-dans-avenir-du-canada-le-cout-de-adaptation-au-climat.pdf>>
- Bureau d'assurance du Canada (2015) « The economic impacts of the weather effects of climate change on communities ». Bureau d'assurance du Canada, Toronto, Ontario, 201 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://assets.ibc.ca/Documents/Studies/IBC-The-Economic-Impacts.pdf>>

- Bureau d'assurance du Canada (2018). Assurance de dommages au Canada 2018. Toronto, Ontario, 69 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2018/IBC-Fact-Book-2018-FR.pdf>
- Bureau d'assurance du Canada (2019). Assurance de dommages au Canada 2019. Consulté en juin 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf>
- Bureau du vérificateur général du Canada (2016). L'atténuation des effets du temps violent. Printemps 2016, Rapports du commissaire à l'environnement et au développement durable, Rapport 2, Ottawa, Ontario, 24 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201605_02_f_41381.html>
- Burton, I. (2009). « Climate change and the adaptation deficit », dans *The Earthscan Reader on Adaptation to Climate Change*, L. Shipper et I. Burton (éd.). Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 480 p.
- Bush, E. et Lemmen, D. (éd.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>
- Butsic, V., Hanak, E. et Valletta, R. (2011). « Climate change and housing prices: hedonic estimates for ski resorts in Western North America ». *Land Economics*, 87(1), 75–91. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3368/le.87.1.75>>
- CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2007). « Investment and financial flows to address climate change ». CCNUCC, Secrétariat du changement climatique, Bonn, Allemagne, 262 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://unfccc.int/resource/docs/publications/financial_flows.pdf>
- Chambwera, M., Heal, G., Dubeux, C., Hallegatte, S., Leclerc, L., Markandya, A., McCarl, B.A., Mechler, R. et Neumann, J.E. (2014). « Economics of adaptation » dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change)*, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, et L.L. White (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 945–977. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap17_FINAL.pdf>
- Chavillaz, Y., Roy, P., Partanen, A.-I., Da Silva, L., Bresson, É., Mengis, N., Chaumont, D. et Matthews, H.D. (2019). « Exposure to excessive heat and impacts on labour productivity linked to cumulative CO₂ emissions ». *Scientific Reports: Nature*, 9, 13711. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-50047-w>>
- Cimato, F. et Mullan, M. (2010). « Adapting to climate change: analysing the role of government ». Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Londres, Royaume-Uni, 79 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69194/pb13341-analysing-role-government-100122.pdf>
- Circé, M., Da Silva, L., Boyer-Villemaire, U., Duff, G., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016a). Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec – Rapport Synthèse. Ouranos, Montréal, 89 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Synth%C3%A8se_Qc.pdf>
- Circé, M., Boyer-Villemaire, U., Da Silva, L. et Jardine, D. (2016b). Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec – Résultats Intégrés. Ouranos, Montréal, 24 p.
- Ciscar, J.-C., Iglesias, A., Feyen, L., Szabó, L., Van Regemorter, D., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O.B., Dankers, R., Garrote, L., Goodess, C.M., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J. et Soria, A. (2011). « Physical and economic consequences of climate change in Europe ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1011612108>>
- Cline, W.R. (2007). « Global warming and agriculture: impact estimates by country ». Peterson Institute of International Economics, Washington, D.C., 250 p.
- Corbett, L.J., Withey, P., Lantz, V.A. et Ochuodho, T.O. (2015). « The economic impact of the mountain pine beetle infestation in British Columbia: provincial estimates from a CGE analysis ». *Forestry*, 0, 1–6. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/forestry/cpv042>>
- Coronesea, M., Lampertia, F., Kellerc, K., Chiaromonte, F. et Roventinia, A. (2019). « Evidence for sharp increase in the economic damages of extreme natural disasters ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 166(43), 21450–21455. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1907826116>>
- Cropper, M.L., Freeman, M.C., Groom, B. et Pizer, W.A. (2014). « Declining discount rates ». *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 104(5), 538–543. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.104.5.538>>
- Daigle, R. (2012). « Sea-level rise and flooding estimates for New Brunswick coastal sections ». Rapport commandé par Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, géré par le Secrétariat du changement climatique, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick, Fredericton, Nouveau-Brunswick, 45 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/fr/islandora/object/acasa%253A569>>

- Damon, M., Mohlin, K. et Sterner, T. (2013). « Putting a price on the future of our children and grand-children », dans *The globalization of cost-benefit analysis in environmental policymaking*, M.A. Livermore et R.L. Revesz (éd.). Oxford University Press, New York, 352 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199934386.001.0001>>
- DaSilva, L., Desrochers, F.-A., Pineault, K., Gosselin, C.-A., Grenier, P. et Larose, G. (2019). Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec. Ouranos, Montréal, 119 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDaSilva2019.pdf>>
- de Bruin, K. et Dellink, R. (2011). « How harmful are restrictions in adapting to climate change? » *Global Environmental Change*, 21(1), 34–45. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.09.008>>
- de Bruin, K. (2011). « Distinguishing between proactive (stock) and reactive (flow) adaptation ». Centre for Environmental and Resource Economics Working Paper (CERE) Working Papers 2011:8, Université d'Umeå, Umeå, Suède, 45 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.2139/ssrn.1854285>>
- de Bruin, K., Dellink, R. et Agrawala, S. (2009a). « Economic aspects of adaptation to climate change: Integrated Assessment Modelling of adaptation costs and benefits ». Documents de travail sur l'environnement de l'OCDE no 6, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), Paris, France, 48 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/225282538105>>
- de Bruin, K., Dellink, R.B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., de Groot, R.S., Kuikman, P.J., Reinhard, S., Roetter, R.P., Tassone, A., Verhagen, A. et van Ierland, E.C. (2009b) « Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives ». *Climatic Change*, 95, 23–45. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-009-9576-4>>
- Dell, M., Jones, B.F. et Olken, B.A. (2012). « Temperature shocks and economic growth - evidence from the last half century ». *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4, 66–95. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66>>
- Dell, M., Jones, B.F. et Olken, B.A. (2014). « What do we learn from the weather? The new climateeconomy literature ». *Journal of Economic Literature*, 52, 740–798. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/jel.52.3.740>>
- Dennig, F. (2018). « Climatic change and the re-evaluation of cost-benefit analysis ». *Climate Change*, 151, 43–54. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2047-4>>
- Dessai, S. et Hulme, M. (2007). « Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: a case study on water resources management in the East of England ». *Global Environmental Change*, 17(1), 59–72. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.11.005>>
- Dessai, S., Hulme, M., Lempert, R.J. et Pielke Jr, R. (2009). « Climate prediction: a limit to adaptation? » dans *Adapting to climate change: thresholds, values, governance*, W.N. Adger, I. Lorenzoni et K.L. O'Brien (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 49–57.
- Dessai, S., Lu, X. et Risbey, J.S. (2005). « On the role of climate scenarios for adaptation planning ». *Global Environmental Change*, 15, 87–97. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.004>>
- Diaz, D. et Moore, F. (2017). « Valuing Potential Climate Impacts: A Review of Current Limitations and the Research Frontier ». Mise à jour technique, ID du produit 3002011885. Electric Power Research institute (EPRI), Palo Alto, Californie, 36 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.epri.com/research/products/3002011885>>
- Directeur parlementaire du budget (2016). Estimation du coût annuel moyen des Accords d'aide financière en cas de catastrophe causée par un événement météorologique. Bureau du directeur parlementaire du budget, Ottawa, Ontario, 46 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2016/DFAA/DFAA_FR.pdf>
- Dittrich, R., Wreford, A. et Moran, D. (2016). « A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: are robust methods the way forward? » *Ecological Economics*, 122, 79–89. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.12.006>>
- Dorling, R. et Hanniman, K. (2016). « Restoring water levels on Lake Michigan-Huron: A cost benefit analysis ». Mowat Centre, Munk School of Global Affairs and Public Policy, Université de Toronto, Toronto, 74 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://munkschool.utoronto.ca/mowatcentre/wp-content/uploads/publications/120_restoring_water_levels_on_lake_michigan-huron.pdf>
- Dow, K., Berkhout, F., Preston, B.L., Klein, R.J.T., Midgley G. et Shaw, M.R. (2013). « Limits to Adaptation ». *Nature Climate Change*, 3, 305–307. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1847>>
- Downing, T.E. (2012). « Views of the frontiers in climate change adaptation economics ». *WIREs Climate Change*, 3(2), 161–170. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.157>>

- Drupp, M., Freeman, M., Groom, B. et Nesje, F. (2015). « Discounting disentangled: an expert survey on the determinants of the long-term social discount rate ». Document de travail 172. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, Londres, Royaume-Uni, 42 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/06/Working-Paper-172-Drupp-et-al.pdf>>
- Dunne, J.P., Stouffer, R.J. et John, J.G. (2013). « Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming ». *Nature Climate Change*, 3, 563–566. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1827>>
- Ebi, K., Ogden, N., Semenza, J. et Woodward, A. (2017). « Detecting and attributing health burdens to climate change ». *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 085004. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/EHP1509>>
- Economics of Climate Adaptation (2009). « Shaping climate resilient development: a framework for decision-making ». Rapport par le Economics of Climate Adaptation (ECA) Working Group. Swiss Re, McKinsey, Global Environment Facility, Commission européenne, Rockefeller Foundation, Climate Works et Standard Chartered Bank, Zurich, Suisse, 159 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://ccsl.iccip.net/climate_resilient.pdf>
- Eisenack, K., Moser, S.C., Hoffman, E., Klein, R.J.T., Oberlack, C., Pechan, A., Rotter, M. et Termeer, C.J.A.M. (2014). « Explaining and overcoming barriers to climate change adaptation ». *Nature Climate Change*, 4, 867–872. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2350>>
- Ekstrom, J., Moser, S. et Torn, M. (2011). « Barriers to climate change adaptation: a diagnostic framework ». Rapport préparé pour la California Energy Commission. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, Californie. Consulté en août 2020 sur le site <http://www.susannemoser.com/documents/Ekstrom-Moser-Torn_2011_BarriersFrameworkReport_CEC-500-2011-004.pdf>
- Emploi et Développement social Canada (2018). Le stress thermique dans les lieux de travail: Guide 2018. Emploi et Développement social Canada, Ottawa, 30 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/emploi-developpement-social/services/sante-securite/rapports/stress-thermique-lieux-travail.html>>
- Epper, T., Fehr-Duda, H. et Bruhin, A. (2011). « Viewing the future through a warped lens: Why uncertainty generates hyperbolic discounting? » *Journal of Risk and Uncertainty*, 43, 169–203. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11166-011-9129-x>>
- Fankhauser, S. (2017). « Adaptation to climate change ». *Annual Review of Resource Economics*, 9(1), 209–230. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-033554>>
- Felgenhauer, T. et Webster, M. (2014). « Modeling adaptation as a flow and stock decision with mitigation ». *Climatic Change*, 122, 665–679. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-013-1016-9>>
- Filatova, T. (2013). « Market-based instruments for flood risk management: a review of theory, practice and perspectives for climate adaptation policy ». *Environmental Science and Policy*, 37, 227–242. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.005>>
- Filatova, T., Mulder, J. et van der Veen, A. (2011). « Coastal risk management: how to motivate individual economic decisions to lower flood risk? » *Ocean and Coastal Management*, 54, 164–172. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.10.028>>
- Floater, G., Heeckt, C., Ulterino, M., Mackie, L., Rode, P., Bhardwaj, A., Carvalho, M., Gill, D., Bailey, T. et Huxley, R. (2016). « Co-benefits of urban climate action: a framework for cities ». Document de travail du Economics of Green Cities Programme, LSE Cities, London School of Economics and Political Science, Londres, Royaume-Uni, 86 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://eprints.lse.ac.uk/68876/1/Cobenefits_Of_Urban_Climate_Action.pdf>
- Fleurbay, M. et Rafeh, R. (2016). « The use of distributional weights in benefit-cost analysis: insights from welfare economics ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 286–307. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rew003>>
- Fussler, H.-M. (2003). « Impacts of climate change on human health – opportunities and challenges for adaptation planning ». Document de travail – EVA no 4. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Allemagne.
- Gall, M., Borden, K., Emrich, C. et Cutter, S. (2011). « The unsustainable trend of natural hazard losses in the United States ». *Sustainability*, 3, 2157–2181. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su3112157>>
- Georgeson, L., Maslin, M., Poessinouw, M. et Howard, S. (2016). « Adaptation responses to climate change differ between global megacities ». University College London, Londres, Royaume-Uni, 15 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2944>>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2001). « Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability ». Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 1032 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf>

- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012). « Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation ». Rapport spécial des Groupes de travail I et II du GIEC. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 582 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013). Résumé à l'intention des décideurs, dans *Changements climatiques 2013 – les éléments scientifiques* (Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC), T. Stocker, T., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 3–29. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf>
- Girard, N. (2018). Communication personnelle avec Nicholas Girard, analyste en matière de politiques environnementales, Programme d'adaptation aux changements climatiques des Premières Nations, Direction des changements climatiques et de l'énergie propre, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, Ottawa, Ontario.
- Global Commission in Adaptation (2019). « Adapt now: a global call for leadership on climate resilience ». Global Commission on Adaptation, 81 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf>
- Gouvernement britannique (2013). « The national adaptation programme: making the country resilient to a changing climate ». Gouvernement de Sa Majesté, The Stationery Office, Londres, Royaume-Uni, 182 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/727259/pb13942-nap-20130701.pdf>
- Gowdy, J. (2013). « Valuing nature for climate change policy: from discounting the future to truly social deliberation », dans *Handbook on energy and climate change*, R. Fouquet (éd.). Edward Elgar, Cheltenham, 752 p.
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T. et Ohlson, D. (2012). « Structured decision making: a practical guide to environmental management choices ». Wiley-Blackwell, Chichester, 315 p.
- Groom, B. et Maddison, D. (2018). « New estimates of the elasticity of marginal utility for the UK ». *Environmental and Resource Economics*, 72, 1–28. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10640-018-0242-z>>
- Grothmann, T. et Patt, A. (2005). « Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change ». *Global Environmental Change*, 15(3), 199–213. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002>>
- Haasnoot, M., Warren, A. et Kwakkel, J.H. (2018). « Dynamic adaptive policy pathways (DAPP) », dans *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, V. Marchau et coll. (éd.). Springer Open Access, Cham, Suisse, 71–91. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.springerprofessional.de/content/pdfId/16610888/10.1007/978-3-030-05252-2_4?canonical=https%3A%2F%2Fwww.springerprofessional.de%2Fen%2Fdynamic-adaptive-policy-pathways-dapp%2F16610888%3FfulltextView%3Dtrue>
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E. et ter Maat, J. (2013). « Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world ». *Global Environmental Change*, 23(2), 485–498. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>>
- Haigh, N. et Fisher, J. (2010). « Using a “Real Options” approach to determine a future strategic plan for flood risk management in the Thames Estuary ». Document de travail du Government Economic Service. Trésor de Sa Majesté, Londres, Royaume-Uni.
- Hallegatte, S. (2013). « The indirect cost of natural disasters and an economic definition of macroeconomic resilience ». Impact Appraisal for Sovereign Disaster Risk Financing and Insurance Project: Phase 1 Public Finance and Macroeconomics, Paper 3. Réseau de développement durable, Bureau de l'économiste en chef, Banque mondiale, Washington, D.C., 35 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22238/The0indirect0c0oeconomic0resilience.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>
- Hallegatte, S. (2014). « Trends in hazards and the role of climate change ». dans *Natural disasters and climate change*. Springer, Cham, Suisse, 77–97.
- Hallegatte, S., Shah, A., Lempert, R., Brown, C. et Gill, S. (2012). « Investment Decision Making Under Deep Uncertainty: Application to Climate Change ». Documents de travail de recherche sur les politiques 6193. Banque mondiale, Washington, D.C., 41 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1596/1813-9450-6193>>
- Halsnæs, K., Shukla, P., Ahuja, D., Akumu, G., Beale, R., Edmonds, J., Gollier, C., Grübler, A., Ha Duong, M., Markandya, A., McFarland, M., Nikitina, E., Sugiyama, T., Villavicencio A. et Zou, J. (2007). « Framing issues », dans *Climate Change 2007: Mitigation* (Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 118–167 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-chapter2-1.pdf>>
- Hamilton, J., Maddison, D. et Tol, R. (2005). « Climate change and international tourism: a simulation study ». *Global Environmental Change*, 15(3), 253–266. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.009>>

- Heal, G. et Millner, A. (2013). « Uncertainty and decision in climate change economics ». Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, document de travail no 108, London School of Economics, Londres, Royaume-Uni, 24 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/ret023>>
- Heal, G. et Park, J. (2016). « Temperature stress and the direct impact of climate change: a review of an emerging literature ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 1–17. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rev007>>
- Hope, C. (2011). « The PAGE09 integrated assessment model: A technical description ». Série de documents de travail 4/2011, Judge Business School, Université de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni, 40 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/research/workingpapers/wp1104.pdf>
- Hope, E., McKenney, D., Pedlar, J., Stocks, B. et Gauthier, S. (2015). « Wildfire suppression costs for Canada under a changing climate ». *PLoS ONE*, 11(8), e0157425. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157425>>
- Hotte, N. et Nelson, H. (2015). « Economic instruments for adaptation to climate change in forestry ». Rapport préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique. Consulté en août 2020 sur le site <<http://harry-w-nelson-forestry.sites.olt.ubc.ca/files/2015/06/Final-Report-Economic-Instruments-for-Adaptation-to-Climate-Change-June-2-2015.pdf>>
- Howard, P. et Sylvan, D. (2015). « Expert Consensus on the Economics of Climate Change ». Institute of Policy Integrity, New York University School of Law, New York, New York, 31 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.edf.org/sites/default/files/expertconsensusreport.pdf>>
- Hunt, A. (2009). « Economic aspects of climate change impacts and adaptation in the UK ». Thèse de doctorat, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni.
- IBI Group (2015a). « Benefit-cost analysis of flood mitigation projects for the City of Calgary: Glenmore Reservoir diversion ». Rapport préparé pour le gouvernement de l'Alberta par le IBI Group, Calgary, Alberta, 9+ p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/publications/benefit-cost-analysis-of-flood-mitigation-projects-for-the-city-of-calgary-glenmore-reservoir>>
- IBI Group (2015b). « Benefit-cost analysis of flood mitigation projects for the City of Calgary: Springbank off-stream flood storage ». Rapport préparé pour le gouvernement de l'Alberta par le IBI Group, Calgary, Alberta, 10+ p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/dataset/ca7f0d55-e9bc-4efa-8657-9f6014c85f45/resource/e80f53f7-7fd6-45f4-abd7-4ad85d7fd07e/download/springbank-benefit-cost.pdf>>
- IBI Group (2015c). « Benefit-cost analysis of flood mitigation projects for the City of Calgary: McLean Creek flood storage ». Rapport préparé pour le gouvernement de l'Alberta par le IBI Group, Calgary, Alberta, 10+ p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/dataset/33e478fc-1c01-428c-90c7-365e898d969d/resource/58cde7b5-3795-4c25-ba9b-978ef4047ed7/download/mclean-creek-benefit-cost.pdf>>
- Jenkins, G. et Kuo, C.-Y. (2007). « The economic opportunity cost of capital for Canada—an empirical update ». Document de travail no 1133 du département d'économie de l'Université Queen's. Department of Economics, Université Queen's, Kingston, Canada, 25 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.econ.queensu.ca/sites/econ.queensu.ca/files/qed_wp_1133.pdf>
- Jeuland, M. et Whittington, D. (2013). « Water resources planning under climate change: assessing the robustness of real options for the Blue Nile ». *Water Resources Research*, 50, 22 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2013WR013705>>
- Johansson-Stenman, O. (2005). « Distributional weights in cost-benefit analysis—should we forget about them? ». *Land Economics*, 81(3), 337–352. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/4129689>>
- Jones, C.I. et Klenow, P.J. (2016). « Beyond GDP? Welfare across countries and time ». *American Economic Review*, 106, 2426–2457. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.20110236>>
- Jones, R.N., Patwardhan, A., Cohen, S.J., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R.J., Mirza, M.M.Q. et von Storch, H. (2014). « Economics of adaptation » dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change)*. C.B. Field (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 195–228. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap2_FINAL.pdf>
- Kahn, M.E. (2016). « The Climate Change Adaptation Literature ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 166–178. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rev023>>

- Kahn, M.E., Mohaddes, K., Ng, R.N.C., Hashem Pesaran, M., Raissi, M. et Yang, J.-C. (2019). « Longterm macroeconomic effects of climate change: a cross-country analysis ». Document de travail du FMI (WP/19/215), Fonds monétaire international (FMI), Washington, D.C., 58 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2019/wp19215-print.pdf>>
- Kim, B. et Zauberman, G. (2009). « Perception of anticipatory time in temporal discounting ». *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 2, 91–101. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1037/a0017686>>
- Kjellstrom, T., Holmer, I. et Lemke, B. (2009). « Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change ». *Global Health Action*, 2. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>>
- Kjellstrom, T., Lemke, B. et Otto, M. (2013). « Mapping occupational heat exposure and effects in SouthEast Asia: Ongoing time trends 1980–2011 and future estimates to 2050 ». *Industrial Health*, 51(1), 56–67. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0174>>
- Kjellstrom, T., Lemke, B., Matthias Otto, P., Hyatt, O.M., Briggs, D.J. et Freyberg, C.A. (2015). « Heat impacts on work, human performance and daily life », dans *Climate Change and Public Health*, B. Levy et J. Patz (éd.). Oxford University Press, New York, 73–86. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/med/9780190202453.003.0004>>
- Kjellstrom, T., Maître, N., Saget, C., Otto, M. et Karimova, T. (2019). Travailler sur une planète plus chaude: L'impact du stress thermique sur la productivité du travail et le travail décent. Organisation internationale du Travail, Genève, Suisse, 103 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_737037/lang-fr/index.htm>
- Klein, R.J.T., Midgley, G.F., Preston, B.L., Alam, M., Berkhout, F.G.H., Dow, K. et Shaw, M.R. (2014). « Adaptation opportunities, constraints and limits », dans *Changements climatiques 2014 – conséquences, adaptation, et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels* (Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC), C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 899–943. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap16_FINAL.pdf>
- Kompass, T., Pham, V. et Che, T. (2018). « The effects of climate change on GDP by country and global economic gains from complying with the Paris Accord ». *Earth's Future*, 6, 1153–1173. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2018EF000922>>
- Kousky, C. (2012). « Informing climate adaptation: a review of the economic costs of natural disasters, their determinants, and risk reduction options ». RFF DP 12–28. Resources for the Future, Washington, D.C., 62 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2099769>>
- Kousky, C. (2014). « Managing shoreline retreat: a US perspective ». *Climatic Change*, 124, 9–20. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1106-3>>
- Kovats, S., Lloyd, S., Hunt, A. et Watkiss, P. (2011). « Technical Policy Briefing Note 5: The Impacts and Economic Costs on Health in Europe and the Costs and Benefits of Adaptation ». Résultats du EC RTD ClimateCost Project, dans *The ClimateCost Project, Final Report, Volume 1: Europe*, P. Watkiss (éd.). Institut de Stockholm pour l'environnement, Stockholm, Suède. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.sei.org/mediamanager/documents/Publications/sei-climatecost-health.pdf>>
- Lafakis, C., Ratz, L., Fazio, E. et Cosma, M. (2019). « The economic implications of climate change ». Moody's Analytics, Londres, Royaume-Uni 13 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://ma.moodys.com/rs/961-KCJ-308/images/2019-08-08-Climate-Change.pdf>>
- Lantz, V., Trenholm, R., Wilson, J. et Richards, W. (2012). « Assessing market and non-market costs of freshwater flooding due to climate change in the community of Fredericton, Eastern Canada ». *Climatic Change*, 110(1–2), 347–372. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0063-3>>
- Larrivée, C., Desjarlais, C., Roy, R. et Audet, N. (2016). Étude économique régionale des impacts potentiels des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent dus aux changements climatiques et des options d'adaptation. Rapport soumis à Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques et au gouvernement du Québec, Ouranos, Montréal, 38 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/ACA-GLSL_Synthese_2016_FR.pdf>
- Larrivée, C., Sinclair-Désigné, N., Da Silva, L., Revéret, J.P. et Desjarlais, C. (2015). Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois. Rapport d'étude, Ouranos, Montréal, 58 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/2016/03/RapportLarrivee2015_FR-1.pdf>
- Lecocq, F. et Shalizi, Z. (2007). « Balancing expenditures on mitigation of adaptation to climate change: an exploration of issues relevant to developing countries ». Série de documents de travail de recherche sur les politiques 4299. Banque mondiale, Washington, D.C., 42 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/7487/wps4299.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

- Lempert, R.J. (2014). « Embedding (some) benefit-cost concepts into decision support processes with deep uncertainty ». *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5(3), 487–514. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1515/jbca-2014-9006>>
- Lempert, R.J., Kalra, N., Peyraud, S., Mao, Z. et Tan, S.B. (2013). « Ensuring robust flood risk management in Ho Chi Minh City ». Document de travail de recherche sur les politiques 6465. Banque mondiale, Washington, D.C., 63 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Dean_Cira/publication/255698092_Ensuring_Robust_Flood_Risk_Management_in_Ho_Chi_Minh_City/links/54e3223e0cf2d90c1d9bfff24/Ensuring-Robust-Flood-Risk-Management-in-Ho-Chi-Minh-City.pdf>
- Lempert, R., Arnold, J., Pulwarty, R., Gordon, K., Greig, K., Hawkins Hoffman, C., Sands, D. et Werrell, C. (2018). « Reducing Risks Through Adaptation Actions », dans *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*, D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., États-Unis, 1309–1345. Consulté en août 2020 sur le site <https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_Ch28_Adaptation_Full.pdf>
- Li, J., Mullan, M. et Helgeson, J. (2014). « Improving the practice of economic analysis of climate change adaptation ». *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5(3), 445–467. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1515/jbca-2014-9004>>
- Markandya, A. (2019). « Natural Capital and the Rate of Discount », dans *Mainstreaming Natural Capital and Ecosystem Services into Development Policy*, P. Kumar (éd.). Routledge Taylor and Francis, Londres, Royaume-Uni.
- Markandya, A., Galarraga, I. et Sainz de Murieta, S. (éd.) (2014). « Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation ». Routledge International Handbooks, Abingdon, Royaume-Uni, 464 p.
- Martinich, J., DeAngelo, B.J., Diaz, D., Ekwurzel, B., Franco, G., Frisch, C., McFarland, J. et O'Neill, B. (2018). « Reducing risks through emissions mitigation », dans *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*, D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., États-Unis, 1346–1386. Consulté en août 2020 sur le site <https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_Ch29_Mitigation_Full.pdf>
- Mendelsohn, R. (2012). « The economics of adaptation to climate change in developing countries ». *Climate Change Economics*, 3(2), 1250006. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1142/S2010007812500066>>
- Metroeconomica (2004). « Costing the impacts of climate change in the UK: Implementation report ». Lignes directrices préparées pour le United Kingdom Climate Impacts Program. Oxford, Royaume-Uni, 373 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/Costings_Implementation.pdf>
- Meyer, V., Gebhardt, O. et Alves, F.A. (éd.) (2015). « Economic evaluation of adaptation options ». Bottom-up Climate Adaptation Strategies Towards a Sustainable Europe (BASE Project). Ecologic Institute, Berlin, Allemagne, 547 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://base-adaptation.eu/sites/default/files/Deliverable_5_2_FINAL.pdf>
- Miller, S., Muir-Wood, R. et Boissonade, A. (2008). « An exploration of trends in normalized weather-related catastrophe losses », dans *Climate Extremes and Society*, H.F. Diaz et R.J. Murnane (éd.). Cambridge University Press, New York, 383 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/CBO9780511535840.015>>
- Millerd, F. (2005). « The economic impact of climate change on Canadian commercial navigation on the Great Lake ». *Canadian Water Resources Journal*, 30(4), 269–280. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4296/cwrj3004269>>
- Moser, S.C. et Ekstrom, J.A. (2010). « A framework to diagnose barriers to climate change adaptation ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 107(51), 22026–22031. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>>
- Moss, R., Scarlett, P.L., Kenney, M.A., Kunreuther, H., Lempert, R., Manning, J., Williams, B.K., Boyd, J.W., Cloyd, E.T., Kaatz, L. et Patton, L. (2014). « Decision support: Connecting science, risk perception, and decisions », Chapitre 26 dans *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J.M. Melillo, T.C. Richmond et G.W. Yohe (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., 620–647. Consulté en août 2020 sur le site <<https://data.globalchange.gov/file/3b8af927-bb15-4eac-8107-860e65e6fc6c>>
- Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H. et Osman, H. (2018). Lutter contre la hausse du coût des inondations au Canada : L'infrastructure naturelle est une option sous-utilisée. Rapport préparé pour le Bureau d'assurance du Canada. Centre intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, 66 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://assets.ibr.ca/Documents/Resources/IBC-Natural-Infrastructure-Report-2018-FR.pdf>>
- Munich RE (2018). « TOPICS Geo natural catastrophes 2017: a stormy year ». Munich RE, Munich, Allemagne, 64 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.munichre.com/content/dam/munichre/global/content-pieces/documents/TOPICS_GEO_2017-en.pdf/jcr_content/renditions/original.media.file/download_attachment.file/TOPICS_GEO_2017-en.pdf>

- Munich RE (2020). « NatCatSERVICE ». Munich Re. Consulté en mai 2020 sur le site <<https://natcatservice.munichre.com>>
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (2016). « Attribution of extreme weather events in the context of climate change ». The National Academies Press, Washington, D.C., 186 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/21852>>
- National Centres for Environmental Information (2020). « NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters ». Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.ncdc.noaa.gov/billions/>>
- National Research Council (2009). « Informing decisions in a changing climate ». Panel on Strategies and Methods for Climate-Related Decision Support, Committee on the Human Dimensions of Global Change. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, Washington, D.C., 188 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/12626>>
- National Research Council (2010). « Informing an Effective Response to Climate Change ». The National Academies Press, Washington, DC., 346 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/12784>>
- Neumayer, E. et Barthel, F. (2011). « Normalizing economic loss from natural disasters: a global analysis ». *Global Environmental Change*, 21(1), 13–24. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.10.004>>
- Newell, R.G. et Pizer, W.A. (2003). « Discounting the distant future: How much do uncertain rates increase valuations? » *Journal of Environmental Economics and Management*, 46, 52–71. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0095-0696\(02\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0095-0696(02)00031-1)>
- Newell, R.G., Prest, B.C. et Sexton, S.E. (2018). « The GDP-temperature relationship: implications for climate change damages ». RFF WP 18–17, Resources for the Future, Washington, D.C., 61 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.rff.org/documents/2655/RFF_WP-18-17_rev_10-20.pdf>
- Nordhaus W.D. (2007). « A review of the “Stern Review on the Economics of Climate Change.” » *Journal of Economic Literature*, 45, 686–702. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/jel.45.3.686>>
- Nordhaus, W.D. et Boyer, J. (2000). « Warming the world: economic modeling of global warming ». Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, 258 p.
- Ochuodho, T.O. et Lantz, V.A. (2015). « Economic impact of climate change on agricultural crops in Canada by 2051: a global multi-regional CGE model analysis ». *Environmental Economics*, 6(1), 113–125. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.businessperspectives.org/index.php/component/zoo/economic-impacts-of-climate-change-on-agricultural-crops-in-canada-by-2051-a-global-multi-regional-cge-model-analysis>>
- Ochuodho, T.O., Lantz, V.A., Lloyd-Smith, P. et Benitez, P. (2012). « Regional economic impacts of climate change and adaptation in Canadian forests: a CGE modeling analysis ». *Forest Policy and Economics*, 25, 100–112. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.08.007>>
- Organisation de coopération et de développement économiques (2015). Les conséquences économiques du changement climatique. Publications de l’OCDE, Paris, 140 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1787/9789264261082-fr>>
- Organisation pour l’alimentation et l’agriculture (2007). « Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: perspective, framework and priorities ». Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture, Rome, Italie, 24 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.preventionweb.net/files/8342_j9271e1.pdf>
- Paci, D. (éd.) (2014). « Human Health Impacts of Climate Change in Europe ». Rapport pour le PESETA II Project, JRC Technical Reports, Séville, Espagne, 28 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2791/64481>>
- Parnham, H., Arnold, S. et Fenech, A. (éd.) (2016). « Using cost-benefit analysis to evaluate climate change adaptation options in Atlantic Canada ». Rapport soumis à la Division des impacts et de l’adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 90 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%253A779>>
- Patt, A. G., van Vuuren, D. P., Berkhout, F., Aaheim, S., Hof, A. F., Isaac, M. et Mechler, R. (2010). « Adaptation in integrated assessment modeling: where do we stand? ». *Climatic Change*, 99, 383–402. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-009-9687-y>>
- Penning-Rowsell, E.C., Haigh, N., Lavery, S. et McFadden. L. (2013). « A threatened world city: the benefits of protecting London from the sea ». *Natural Hazards*, 66, 1383–1404. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-011-0075-3>>
- Perrin, A., Dion, J., Eng, S., Sawyer, D., Nodelman, J. R., Comer, N., Auld, H., Sparling, E., Harris, M., Nodelman, J.Y.H. et Kinnear, L. (2015). « Economic implications of climate change adaptations for mine access roads in Northern Canada ». Northern Climate Exchange, Centre de recherche du Yukon, Collège du Yukon, 93 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.yukonu.ca/sites/default/files/inline-files/Economic_Implications_TCWR_FINAL_web3.pdf>

- Pielke, R.A. Sr, Wilby, R., Niyogi, D., Hossain, F., Dairuku, K., Adegoke, J., Kallos, G., Seastedt, T. et Suding, K. (2012). « Dealing with complexity and extreme events using a bottom-up, resource-based vulnerability perspective », dans *Extreme events and natural hazards: the complexity perspective*. Geophysical Monograph Series 196, 345–359. Consulté en août 2020 sur le site <<https://pielkeclimatesci.files.wordpress.com/2012/10/r-3651.pdf>>
- Pielke, R.A., Jr. (2007). « Mistreatment of the economic impacts of extreme events in the Stern Review Report on the Economics of Climate Change ». *Global Environmental Change*, 17, 302–310. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.05.004>>
- Pielke, R.A., Jr., Gratz, J., Landsea, C.W., Collins, D., Saunders, M.A. et Musulin, R. (2008). « Normalized hurricane damages in the United States: 1900–2005 ». *Natural Hazards Review*, 9(1), 29–42. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2008\)9:1\(29\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:1(29))>
- Pielke, R.A., Jr., Rubiera, J., Landsea, C., Fernández, M.L. et Klein, R. (2003). « Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: normalized damages and loss potentials ». *Natural Hazards Review*, 4(3), 101–114. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(101\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(101))>
- Porter, J., Dessai, S. et Tompkins, E. (2014). « What do we know about UK household adaptation to climate change? A systematic review ». *Climatic Change*, 127, 371–379. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1252-7>>
- Productivity Commission (2012). « Barriers to effective climate change adaptation, Report No. 59, Final Inquiry Report ». Productivity Commission, Canberra, Australie, 385 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.pc.gov.au/inquiries/completed/climate-change-adaptation/report/climate-change-adaptation.pdf>>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (2011). « A practical framework for developing pro-climate development policy ». Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Nairobi, Kenya, 142 p.
- PROVIA (2013). « PROVIA guidance on assessing vulnerability, impacts and adaptation to climate change ». Document de consultation. Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Nairobi, Kenya, 198 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/provia-guidance-nov2013.pdf>>
- Randall, A., Capon, T., Sanderson, T., Merrett, D. et Hertzler, G. (2012). « Choosing a decision-making framework to manage uncertainty in climate adaptation decision-making: A practitioner's handbook ». National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast, Australie, 25 p. Consulté en mai 2020 sur le site <https://www.nccarf.edu.au/sites/default/files/attached_files_publications/Randall_2012_Practitioner_handbook.pdf>
- Ranger, N., Millner, A., Dietz, S., Fankhauser, S., Lopez, A. et Ruta, G. (2010). « Adaptation in the UK: a decision-making process ». Exposé de politique. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, Londres, Royaume-Uni, 61 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/adaptation-in-the-uk-a-decision-making-process/>>
- Ranger, N., Reeder, T. et Lowe, J. (2013). « Addressing 'deep' uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: four innovations of the Thames Estuary 2100 Project ». *EURO Journal of Decision Process*, 1, 233–262. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40070-013-0014-5>>
- Ratti, M. (2017). « The economics of natural disasters: an overview of the current research issues and methods ». Document de travail du CERE 2017:3, Centre for Environmental and Resource Economics, Université d'Umeå. Consulté en décembre 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2957459>>
- Reeder, T. et Ranger, N. (2011). « How do you adapt in an uncertain world? Lessons from the Thames Estuary 2100 project ». World Resources Report, Uncertainty Series. World Resources Institute, Washington, D.C., 16 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/uploads/wrr_reeder_and_ranger_uncertainty.pdf>
- Reinsborough, M.J. (2003). « A Ricardian model of climate change in Canada ». *Canadian Journal of Economics*, 36(1), 21–40. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/1540-5982.00002>>
- Revesz, R.L., Howard, P.H., Arrow, K., Goulder, L.H., Kopp, R.E., Livermore, M.A., Oppenheimer, M. et Sterner, T. (2014). « Global warming: Improve economic models of climate change ». *Nature*, 508, 173–175. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.nature.com/news/global-warming-improve-economic-models-of-climate-change-1.14991>>
- Rhodium Group (2014). « American climate prospectus: economic risks in the United States ». Rhodium Group, New York, New York, 201 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://rhg.com/research/american-climate-prospectus-economic-risks-in-the-united-states/>>
- Rodgers, C. et Douglas, A. (2015). « Cost benefit analysis of climate change impacts and adaptation measures for Canadian mines: final report ». Rapport soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 36 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://www.climateontario.ca/doc/p_ECCC/1-AP261-FinalReport-FINAL.PDF>

- Rose, A., Porter, K., Dash, N., Bouabid, J., Huyck, C., Whitehead, J., Shaw, D., Eguchi, R., Taylor, C., McLane, T., Thomas Tobin, L., Ganderton, P.T., Godschalk, D., Kiremidjian, A.S., Tierney, K. et West, C. (2007). « Benefit-cost analysis of FEMA hazard mitigation grants ». *Natural Hazards Review*, 8(4), 97–111. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2007\)8:4\(97\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:4(97))>
- Roson, R. et Sartori, M. (2016). « Estimation of climate change damage functions for 140 regions in the GTAP9 database ». Document de travail de recherche sur les politiques no 7728, Groupe de la Banque mondiale, Washington, D.C., 40 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>>
- Rosenzweig, C. et Solecki, W. (2014). « Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: lessons from a first-responder city ». *Global Environmental Change*, 28, 395–408. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.05.003>>
- Rouillard, J., Tröltzsch, J., Tarpey, J., Lago, M., Watkiss, P., Hunt, A., Bosello, F., Ermolieva, T., Goodess, C., Mechler, R., Parrado, R., Sainz de Murieta, E. et Scussolini, P. (2016a). « The economic analysis of climate adaptation: insights for policy-makers ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 45 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://econadapt.eu/sites/default/files/docs/Deliverable%2010-3.pdf>>
- Rouillard, J., Tröltzsch, J., Lago, M., Markandya, A., Sainz de Murieta, E. et Galarraga, I. (2016b). « Distributional objectives and monetary metrics ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 60 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.ecologic.eu/14384>>
- Schipper, L. et Pelling, M. (2006). « Disaster risk, climate change and international development: Scope for, and challenges to, integration ». *Disasters*, 30, 19–38. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00304.x>>
- Schmidt, S., Kempfert, C. et Hoppe, P. (2009). « Tropical cyclone losses in the USA and the impact of climate change—a trend analysis based on data from a new approach to adjusting storm losses ». *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 359–369. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.03.003>>
- Scussolini, P., Kuik, O., Veldkamp, T., Hudson, P., Sainz de Murieta, E., Galarraga, I., Kaprová, K., Melichar, J., Lago, M., Rouillard, J., Troeltzsch, J., Hunt, A., Skourtos, M., Goodess, C. et Christensen, O. (2015). « The economic appraisal of adaptation investments under uncertainties: policy recommendations, lessons learnt and guidance ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 37 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://econadapt.eu/sites/default/files/docs/Deliverable%206-4%20approved%20for%20publishing.pdf>>
- SCT [Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada] (2018). Politiques sur l'analyse de coûts-avantages. Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, Ontario. Consulté en avril 2021 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/gouvernement/systeme/lois/developpement-amelioration-reglementation-federale/exigences-matiere-elaboration-gestion-examen-reglements/lignes-directrices-outils/politique-analyse-couts-avantages.html>>
- SCT [Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada] (2007). Guide d'analyse coûts-avantages. Révisé en septembre 2018., Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada Ottawa, Ontario, 47 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.tbs-sct.gc.ca/rtrap-parfa/analys/analys-fra.pdf>>
- Sécurité publique Canada (2020). Base de données canadienne sur les catastrophes (BDC). Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/cndn-dsstr-dtbs/index-fr.aspx>>
- Settle, C. et Shogren, J. (2004). « Hyperbolic discounting and time inconsistency in a native exotic species conflict ». *Resource and Energy Economics*, 26, 255–274. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2003.11.010>>
- Smith, A.B. et Katz, R. (2013). « U.S. billion-dollar weather and climate disasters: data sources, trends, accuracy and biases ». *Natural Hazards*, 67, 387–410. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0566-5>>
- Sozou, P. (1998). « On hyperbolic discounting and uncertain hazard rates ». *Proceedings of the Royal Society*, 265(1409), 2015–2020. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0534>>
- Squire, L. et van der Tak, H. (1975). « Economic analysis of projects ». Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland, États-Unis, 153 p.
- Stern N. (2008). « The economics of climate change ». *The American Economic Review*, 98, 1–37. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1>>
- Stern, N. (2006). « The economics of climate change: Stern review ». Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 662 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm>
- Stern, N. (2013). « The structure of economic modeling of the potential impacts of climate change: grafting gross underestimation of risk onto already narrow science models ». *Journal of Economic Literature*, 51(3), 838–859. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/jel.51.3.838>>
- Sussman, F., Krishnan, N., Maher, K., Miller, R., Mack, C., Stewart, P., Shouse, K. et Perkins, B. (2014). « Climate change adaptation cost in the US: What do we know? » *Climate Policy*, 14(2), 242–282. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/14693062.2013.777604>>

- Swart, R.J. et Singh, T. (2013). « Mediation and the adaptation challenge: identifying appropriate methods and tools to support climate change adaptation decision making ». Alterra, Université et centre de recherche de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas, 32p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://www.rec.org/publication.php?id=392>>
- Swiss Re Institute (2018). « Sigma, natural catastrophes and man-made disasters in 2017: a year of record-breaking losses ». Sigma No 1/2018. Swiss Re Institute, Zurich, Suisse, 53 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2018-01.html#:~:text=sigma%20research-sigma%201%2F2018%3A%20Natural%20catastrophes%20and%20man%2Dmade%20disasters,recorded%20in%20a%20single%20year>>
- Swiss Re Institute (2019). « Sigma, natural catastrophes and man-made disasters in 2018: secondary perils on the frontline ». Sigma No 2/2019. Swiss Re Institute, Zurich, Suisse, 30 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.swissre.com/dam/jcr:c37eb0e4-c0b9-4a9f-9954-3d0bb4339bfd/sigma2_2019_en.pdf>
- Swiss Re Institute (2020). « Natural catastrophes in times of economic accumulation and climate change ». Swiss Re Sigma NO 2/2020. Swiss Re Institute, Zurich, Suisse, 31 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2020-02.html>>
- TRNEE [Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie] (2011). « Paying the price: the economic impacts of climate change for Canada ». Ottawa, Ontario, 162 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://nrt-trn.ca/wp-content/uploads/2011/09/paying-the-price.pdf>>
- Thistlethwaite, J., Minano, A., Blake, J.A., Henstra, D. et Scott, D. (2018). « Application of re/insurance models to estimate increases in flood risk due to climate change ». *Geoenvironmental Disasters*, 8(8), 13 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s40677-018-0101-9>>
- Tröltzsch, J., Rouillard, J., Tarpey, J., Lago, M., Watkiss, P. et Hunt, A. (2016). « The economics of climate change adaptation: insights into economic assessment methods ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 42 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://econadapt.eu/sites/default/files/docs/Deliverable%2010-2.pdf>>
- Urge-Vorsatz, D., Tirado-Herrero, S. et Dubash, N. (2014). « Measuring the co-benefits of climate change mitigation ». *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 549–582. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031312-125456>>
- USAID (2015). « Methods for economic analysis of climate change adaptation interventions ». Washington, D.C., 60 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/Methods%2520of%2520Economic%2520Analysis_CLEARED.pdf>
- US Environmental Protection Agency (2007). « Guide to resource planning with energy efficiency ». A resource of the national action plan for energy efficiency, US Environmental Protection Agency, Washington, DC., 81 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/resource_planning.pdf>
- US Environmental Protection Agency (2015). « Climate change in the United States: benefits of global action ». US Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, EPA 430R15001. Washington, DC. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.epa.gov/cira/downloads-cira-report>>
- US Environmental Protection Agency (2017). « Multi-model Framework for Quantitative Sectoral Impacts Analysis: A Technical Report for the Fourth National Climate Assessment ». EPA 430R17001. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC., 271 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=537327&Lab=OAP>
- US Global Change Research Program (2018). « Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II », D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC., 1515 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://doi.org/10.7930/NCA4.2018>>
- Van der Geest, K. et Warner, K. (2015). « Editorial: loss and damage from climate change: emerging perspectives ». *International Journal of Global Warming*, 8(2), 133–140. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.071964>>
- van der Pol, T.D., van Ierland, E. et Weikard, H.-P. (2013). « Optimal dike investments under uncertainty and learning about increasing water levels ». *Journal of Flood Risk Management*, 7(4), 308–318. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfr3.12063>>
- Vanos, J., Vecellio, D.J. et Kjellstrom, T. (2019). « Workplace heat exposure, health protection, and economic impacts: a case study in Canada ». *American Journal of Industrial Medicine*, 62(12), 1024–1037. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/ajim.22966>>
- Vivid Economics (2013). « The macroeconomics of climate change ». Rapport préparé pour le Department for Environment, Food and Rural Affairs du Royaume-Uni, Londres, Royaume-Uni. 95 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=11138_TheMacroeconomicsofClimateChangeFinalReportMay2013.pdf>

- Wallimann-Helmer, I., Meyer L., Mintz-Woo K., Schinko T. et Serdeczny O. (2019). « The ethical challenges in the context of climate loss and damage », dans *Loss and damage from climate change*, R. Mechler, L. Bouwer, T. Schinko, S. Surminski et J. Linnerooth-Bayer (éd.). « Climate Risk Management, Policy and Governance ». Springer Open, Cham, Suisse, 39–62. Consulté en août 2020 sur le site <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72026-5_2>
- Walker, W.E., Haasnoot, M. et Kwakkel, J. H. (2013). « Adapt or perish: a review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty ». *Sustainability*, 5, 955–979. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su5030955>>
- Wang, W. et McCarl, B. (2011). « Temporal investment in climate change adaptation and mitigation ». *Climate Change Economics*, 4(2), 1350009. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1142/S2010007813500097>>
- Warren, R., Andrews, O., Brown, S., Forstenhaeusler, N., Gernaat, D., Goodwin, P., Harris, I., He, H., Hope, C., Gonzalez-Colon, F., Nicholls, R., Osborn, T., Price, J., Van Vuuren, D. et Wright, R. (2018). « Risks associated with global warming of 1.5°C or 2°C ». Note d'information, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://tyndall.ac.uk/sites/default/files/publications/briefing_note_risks_warren_r1-1.pdf>
- Watkiss, P. (2015). « A review of the economics of adaptation and climate-resilient development ». Document de travail no 205 du Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics, Londres, Royaume-Uni, 41 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2015/09/Working-Paper-205-Watkiss.pdf>>
- Watkiss, P., Hunt, A., Blyth, W. et Dyszynski, J. (2015). « The use of new economic decision support tools for adaptation assessment: a review of methods and applications, towards guidance on applicability ». *Climatic Change*, 132(3), 401–416. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1250-9>>
- Watkiss, P. et Hunt, A. (2013). « Method overview: decision support methods for adaptation. Briefing Note 1. Summary of methods and case study examples from the MEDIATION Project ». Alterra, Université et centre de recherche de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas, 18 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.sei.org/mediamanager/documents/Publications/sei-mediation-briefing1-method-overview.pdf>>
- Watkiss, P., Hunt, A. et Savage, M. (2014). « Early value for money adaptation toolkit: delivering value-for-money adaptation with iterative frameworks and low-regret options ». Department for International Development (DFID) du Royaume-Uni, Londres, Royaume-Uni, 118 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a089a9ed915d622c00033b/Early_VfM_Adaptation_Final_Report.pdf>
- Weaver, C.P., Lempert, R.J., Brown, C., Hall, J.A., Revell, D. et Sarewitz, D. (2013). « Improving the contribution of climate model information to decision making: The value and demands of robust decision frameworks ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(1), 39–60. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.202>>
- Weber, M. et Hauer, G. (2003) « A regional analysis of climate change impacts on Canadian agriculture ». *Canadian Public Policy*, 29(2), 163–180. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2307/3552453>>
- Weiland, S. et Tröltzsch, J. (éd.) (2015). « BASE evaluation criteria for climate adaptation. Bottom-up Climate Adaptation Strategies Towards a Sustainable Europe (BASE Project) ». Ecologic Institute, Berlin, Allemagne, 134 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://base-adaptation.eu/sites/default/files/BASE_Policy_3_June_2015_0.pdf>
- Weitzman M.L. (2007). « A review of the Stern Review on the Economics of Climate Change ». *Journal of Economic Literature*, 45, 703–724. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.45.3.703>>
- Weitzman, M.L. (2001). « Gamma discounting ». *American Economic Review*, 91(1), 261–271. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.91.1.260>>
- Wilby, R. et Dessai, S. (2010). « Robust adaptation to climate change ». *Weather*, 65, 180–185. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wea.543>>
- Wilby, R. (2012). « Frameworks for delivering regular assessments of the risks and opportunities from climate change ». Examen indépendant de la première UK Climate Change Risk Assessment. Rapport final à l'intention du Committee on Climate Change, Londres, Royaume-Uni.
- Willows, R. et Connell, R. (éd.) (2003). « Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making ». Rapport technique du UKCIP, United Kingdom Climate Impacts Programme, Oxford, Royaume-Uni, 154 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/2969/1/N002969CR.pdf>>
- Wilson, J., Trenholm, R., Bornemann, J. et Lieske, D. (2012). « Forecasting economic damages from storm surge flooding: a case study in the Tantramar Region of New Brunswick ». Rapport préparé pour Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique par Green Analytics et le département de géographie et d'environnement. Université Mount Allison, Sackville, Nouveau-Brunswick, 59 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%253A722>>
- Wise, R.M., Fazey, I., Stafford Smith, M., Park, S.E., Eakin, H.C., Archer Van Garderen, E.R.M. et Campbell, B. (2014). « Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response ». *Global Environmental Change*, 28, 325–336. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002>>

Withey, P., Lantz, V. et Ochuodho, T. (2016). « Economic costs and impacts of climate-induced sea-level rise and storm surge in Canadian coastal provinces: a CGE approach ». *Applied Economics*, 48(1), 59–71. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1073843>>

Withey, P., Ochuodho, T. et Lantz, V. (2015). « The economic impact of the mountain pine beetle infestation in British Columbia: Provincial estimates from a CGE analysis ». *Forestry*, 89(1), 100–105. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/forestry/cpv042>>

Woodward, M., Gouldby, B., Kapelan, Z., Khu, S-T. et Townend, I. (2011). « Incorporating real options into flood risk management decision-making ». HR Wallingford, Wallingford, Royaume-Uni, 10 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/lan_Townend/publication/279476752_Incorporating_real_options_into_flood_risk_management_decision_making/links/55cb0f9508aeb975674a62f9/Incorporating-real-options-into-flood-risk-management-decision-making.pdf>

Zhai, F., Lin, T. et Byambadorj, E. (2009). « A general equilibrium analysis of the impact of climate change on agriculture in the People's Republic of China ». *Asian Development Review*, 26(1), 206–225. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Fan_Zhai3/publication/227488886_A_General_Equilibrium_Analysis_of_the_Impact_of_Climate_Change_on_Agriculture_in_the_People's_Republic_of_China/links/547706780cf2778985b0a0a1/A-General-Equilibrium-Analysis-of-the-Impact-of-Climate-Change-on-Agriculture-in-the-Peoples-Republic-of-China.pdf>

Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V.V. (2019). Les changements de températures et de précipitations au Canada, Chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 112–193. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_Chapitre4-Les%20changements%20de%20tempe%CC%81rature%20et%20de%20pre%CC%81cipitations%20au%20Canada-1.pdf>

Zivin, J. et Neidell, M. (2014). « Temperature and the allocation of time: Implications for climate change ». *Journal of Labor Economics*, 32(1), 1–26. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1086/671766>>

6.12 Annexes

Annexe 6.1 : Résumé de certaines études nationales et régionales sur les conséquences économiques des changements climatiques pour certains secteurs sensibles au climat au Canada

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Foresterie				
TRNEE (2011) (nationale et provinciale ou territoriale)	<p>Changement de la température annuelle moyenne au Canada d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +3,4 °C) et forts (SRES A2 du GIEC; +3,6 °C)</p> <p>Croissance du PIB du Canada d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de croissance lente (+1,3 % par an) et de croissance rapide (+3,0 % par an)</p>	<p>Impacts sur l'offre de bois résultant des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies, et des changements dans la productivité des forêts</p> <p>Changements dans le PIB projeté par rapport au scénario de référence « sans changements climatiques » (à l'aide du modèle IEG)</p>	<p>Étendue des pertes annuelles de PIB en dollars non actualisés de 2008 (et variation du PIB en %) d'ici 2050 pour le Canada dans le cadre d'un scénario de faibles changements climatiques-à croissance lente et d'un scénario de forts changements climatiques-à croissance rapide :</p> <p>de 2,4 à 17,4 milliards de dollars (de 0,12 à 0,33 %)</p>	<p>Étendue des pertes annuelles de PIB en dollars non actualisés de 2008 (et variation du PIB en %) d'ici 2050 pour des provinces et territoires donnés dans le cadre d'un scénario de faibles changements climatiques-à croissance lente et d'un scénario de forts changements climatiques-à croissance rapide :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alb. : de 0,2 à 1 milliards de dollars (de -0,06 à -0,14 %) • Canada atlantique : de 0,1 à 0,5 milliards de dollars (de 0,07 à -0,21 %) • C.-B. : de 0,5 à 3,1 milliards de dollars (de -0,18 à -0,44 %) • Man., Sask., Nt, T.N.-O. et Yn : de 0,5 à 3,3 \$ milliards de dollars (de -0,33 % à -0,85 %)



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
TRNEE (2011) (nationale et provinciale ou territoriale) (continué)			Pertes totales de PIB en valeur actuelle ¹ pour la période de 2010 à 2080 à un taux d'actualisation de 3 % : de 25 à 176 milliards de dollars	<ul style="list-style-type: none">• Ont. : de 0,1 à 7,4 milliards de dollars (de 0,11 à 0,31 %)• Qc : de 0,3 à 2,1 milliards de dollars (de -0,08 à 0,23 %)

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Ochuodho et coll. (2012) (nationale et provinciale ou territoriale)	Scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +3,4 °C) et forts (SRES A2 du GIEC; +3,6 °C) (TRNEE, 2011) Croissance du PIB du Canada selon la TRNEE (2011) jusqu'en 2080 : <ul style="list-style-type: none"> • croissance lente = +1,3 % par an • croissance rapide = +3,0 % par an. 	Impacts pessimistes (pire cas) et optimistes (meilleur cas) sur l'offre de bois résultant des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies, et des changements dans la productivité des forêts Changements (par rapport au scénario de référence « sans changements climatiques ») dans les valeurs projetées de la production sectorielle, du PIB et du bien-être (variation compensatoire) à l'aide du modèle IEG	Étendue des pertes totales en valeur actualisée au Canada pour la période de 2010 à 2080 dans le cadre du scénario optimiste de faibles changements climatiques–croissance lente, et du scénario pessimiste de forts changements climatiques–croissance rapide (en dollars de 2008 à un taux d'actualisation de 3 %) : <ul style="list-style-type: none"> • Production du secteur : de 6 à 707 milliards de dollars • PIB : de 4 à 459 milliards de dollars • Bien-être : de 3 à 296 milliards de dollars 	Étendue des pertes totales en valeur actualisée pour des provinces et territoires donnés pour la période de 2010 à 2080 dans le cadre du scénario optimiste à faibles changements climatiques–croissance lente, et du scénario pessimiste à forts changements climatiques–croissance rapide (en dollars de 2008 à un taux d'actualisation de 3 %) : <ul style="list-style-type: none"> • Alb. : de 1 à 21 milliards de dollars • Canada atlantique : de >1 à 15 milliards de dollars • C.-B. : de 3 à 66 milliards de dollars • Ont. : de -1 à +209 milliards de dollars • Qc : de -3 à +76 milliards de dollars • Reste du Canada : de 4 à 72 milliards de dollars Dans certains des cas ci-dessus, les gains en productivité compensent les pertes dues aux incendies et aux ravageurs.

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Hope et coll. (2015) ² (nationale et provinciale ou territoriale, à l'exception des provinces de l'Atlantique, du Nunavut et des parcs nationaux)	Changement de la somme sur quatre mois (mai à août) de l'indice d'humidité climatique (IHC) projeté par quatre modèles de circulation générale dans les conditions RCP2.6 et RCP8.5, par rapport à la normale climatique pour la période de 1961 à 1990 Scénario socio-économique statique (c.-à-d. que les coûts de suppression sont constants en valeur actualisée)	Changements de la superficie brûlée en fonction des changements projetés de l'IHC Changements dans les coûts de suppression des incendies, fixes et variables (par rapport aux coûts encourus entre 1980 et 2009), en fonction des changements prévus dans la superficie brûlée	Coûts annuels moyens totaux de suppression des incendies ³ (en dollars de 2009) d'ici les années 2080, par rapport à la période de 1980 à 2009 : <ul style="list-style-type: none"> • Dans le cadre du RCP2.6 : 625 millions de dollars (ou +60 %) • Dans le cadre du RCP8.5 : 640 millions de dollars (ou +119 %) 	Les deux provinces les plus touchées en termes de variation en % des coûts de suppression des incendies d'ici les années 2080, par rapport à la période de 1980 à 2009 : <ul style="list-style-type: none"> • Dans le cadre du RCP2.6 : Alb. (+141 %) et Sask. (+218 %) • Dans le cadre du RCP8.5 : Alb. (+195 %) et Sask. (+265 %)
Corbett et coll. (2015) (C.B.)	Pas de scénario d'émissions à proprement parler, mais une projection des possibilités annuelles de coupe en ColombieBritannique en cas d'infestation par le dendroctone du pin ponderosa (diminution de 32 % sur 50 ans) Croissance économique prévue de 33 % pour la Colombie-Britannique au cours de la période de 2009 à 2054	Impact des infestations de dendroctone du pin ponderosa sur l'approvisionnement en bois en ColombieBritannique Changements de bien-être prévus (variation compensatoire) et d'indicateurs macroéconomiques provinciaux par rapport à la situation de référence, en utilisant le modèle IEG	Sans objet	Valeur actualisée des pertes totales pour la ColombieBritannique au cours de la période de 2009 à 2054 (en dollars actuels, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> • PIB : 57 milliards de dollars (baisse de 1,3 % par an) • Bien-être : 90 milliards de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Agriculture				
Weber et Hauer (2003) (nationale et provinciale)	Exécution unique du modèle MCCGII (Centre canadien de la modélisation et de l'analyse du climat) couvrant la période de 1950 à 2070 (remarque : les changements précis de température et de précipitation n'ont pas été fournis) Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée pour la période de 1995 à 1996 (les conditions de base sont statiques)	Impacts des anomalies de température et de précipitations mensuelles et trimestrielles projetées (moyenne sur 30 ans pour la période de 2021 à 2051) sur la valeur statique des terres agricoles de 1995 à 1996 et sur le rendement des terres agricoles à l'aide d'un modèle ricardien, avec prix fixes	Projection des gains induits par les changements climatiques dans la valeur des terres agricoles au Canada (moyenne sur l'ensemble du pays) en dollars de 1995 par hectare : 1 485 \$ Équivaut à une augmentation de 16 % du PIB agricole national de 1995, soit 32 milliards de dollars (en supposant que les rendements soient annualisés à un taux d'actualisation de +4,7 %)	Projection des gains induits par les changements climatiques dans la valeur des terres agricoles par province en dollars de 1995 par hectare (et variation du PIB agricole provincial en %) : <ul style="list-style-type: none"> • Alb. : 1 675 \$ (+23 %) • C.-B. : 1 145 \$ (+7 %) • Man. : 1 425 \$ (+17 %) • Ont. : 2 215 \$ (+5 %) • Qc : 1 460 \$ (+4 %) • N.-B. : 1 225 \$ (+6 %) • T.-N.-L. : 570 \$ (+1 %) • N.-É. : 775 \$ (+5 %) • Î.-P.-É. : 800 \$ (> 0 %) • Sask. : 1 555 \$ (+38 %)

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Reinsborough (2003) (nationale)	Augmentation prévue de la température annuelle moyenne de 2,8 °C dans l'ensemble du Canada et augmentation des précipitations annuelles moyennes de 8 % (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée pour la période de 1995 à 1996 (les conditions de base sont statiques)	Impacts d'une augmentation uniforme de la température et des précipitations (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) sur la valeur statique des terres agricoles de 1995 à 1996, en utilisant un modèle ricardien avec prix fixes	Projection des gains induits par les changements climatiques dans la valeur des terres agricoles au Canada (total pour l'ensemble du pays) en dollars de 1995 : de +0,9 à 1,5 million de dollars Négligeable par rapport au PIB agricole national de 1995, qui atteint 32 milliards de dollars	Non pris en compte

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Ochuodho et Lantz (2015) (nationale et provinciale ou territoriale)	Scénario d'émissions basé sur les changements dans les rendements des cultures et la valeur des terres agricoles pour la période de 2006 à 2051, dérivé de Weber et Hauer (2007) et de Cline (2007) Scénario de référence de la croissance économique prévue (sans changements climatiques) pour la période de 2006 à 2051	Impacts des changements climatiques sur les rendements des cultures Changements (dans le scénario d'émissions par rapport au scénario de référence) dans le bien-être projeté (variation compensatoire) et les indicateurs macroéconomiques provinciaux et territoriaux estimés à l'aide d'un modèle IEG multirégional, incluant les États-Unis et le reste du monde	Variation en % entre la valeur actuelle du PIB total du Canada pour la période de 2006 à 2051 et le scénario de base, à un taux d'actualisation de 4 % : +1,7 %	Variation en % de la valeur actuelle du PIB total provincial ou territorial et du bien-être, respectivement, pour la période de 2006 à 2051 : <ul style="list-style-type: none"> • Alb. : +2,5 %, +1,9 % • C.-B. : +6,3 %, +5,6 % • Man. : +1,3 %, -0,1 % • T.-N.-L. : +2,5 %, -0,1 % • N.-É. : +1,4 %, +1,2 % • N.-B. : +1,5 %, -0,4 % • Ont. : +1,0 %, -0,65 • Qc : +0,5 %, +0,2 % • Î.-P.-É. : +0,8 %, -1,1 % • Sask. : +0,5 %, -0,5 % • T.N.-O., Nt et Yn : +0,4 %, 0,1 %

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Zhai et coll. (2009) (nationale)	<p>Scénario d'émissions basé sur les changements dans les rendements des cultures, avec et sans les effets de la fertilisation par le carbone, dérivé de Cline (2007) pour la période de 2010 à 2020</p> <p>Scénario de référence d'une croissance mondiale moyenne prévue du PIB de +3,1 % (de 2010 à 2050) et +2,5 % (de 2050 à 2080)</p>	<p>Impacts des changements climatiques sur les rendements du riz paddy, du blé, d'autres céréales et les rendements d'autres cultures</p> <p>Changements (dans le scénario d'émissions par rapport au scénario de référence) dans le PIB prévu, le bien-être (variation équivalente) et la production du secteur agricole, estimés à l'aide d'un modèle IEG de l'économie mondiale</p>	<p>Impact des changements climatiques sur le bien-être et quelques indicateurs macroéconomiques pour le Canada, en pourcentage de changement entre le scénario prévu en 2080 et le scénario de référence :</p> <ul style="list-style-type: none">• Bien-être : +0,2 %• PIB : -0,2 %• Ententes commerciales : +0,8 %• Production du secteur (cultures) : +22,1 %• Production du secteur (bétail) : -15,3 %• Production du secteur (aliments transformés) : 1,6 %	Sans objet

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Amiraslany (2010) (provinces des Prairies)	<p>Augmentations présumées de la température annuelle moyenne (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) dans les Prairies de +1,05 °C (2020), de +2,19 °C (2050) et de +3,26 °C (2080), et changements des précipitations (en millimètres par jour) de +0,016 (2020), de +0,116 (2050) et de +0,186 (2080)</p> <p>Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée à partir des données de 1991, de 1996 et de 2001 (les conditions de base sont statiques)</p>	<p>Impacts d'une augmentation uniforme de la température et des précipitations (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) sur la valeur statique des terres agricoles, en utilisant un modèle ricardien</p> <p>Le modèle a également inclus les impacts des changements prévus sur les prix du blé et du canola en fonction des changements climatiques de +5 % d'ici 2020, de +15 % d'ici 2050 et de +25 % d'ici 2080.</p>	Sans objet	<p>Changement moyen prévu, dû aux changements climatiques, de la valeur des terres agricoles dans l'ensemble de l'Alberta, du Manitoba et de la Saskatchewan, y compris le changement des prix et de la superficie plantée en dollars de 1996 par hectare (et le changement en pourcentage) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2020 : + 145 \$ (+15 %) • 2050 : + 385 \$ (+40 %) • 2080 : + 505 \$ (+50 %) <p>Des diminutions de la valeur des terres sont prévues dans certaines régions du Sud-Est de l'Alberta pour toutes les périodes futures.</p>

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Ayouqi et Vercammen (2014) (provinces des Prairies)	Changements prévus des températures et des précipitations sur la base du scénario d'émissions SRES A2 du GIEC (à partir du modèle MCCG uniquement) : <ul style="list-style-type: none"> • Température annuelle moyenne : +1,3 °C (années 2020), +2,6 °C (années 2050) et +4,1 °C (années 2080). • Précipitations annuelles moyennes : +5 % (années 2020), +12 % (années 2050) et +17 % (années 2080) Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée à partir des données de 1991, de 1996, de 2001, de 2006 et de 2011 (les conditions de base sont statiques)	Impacts d'une augmentation uniforme de la température et des précipitations (par rapport à la norme pour la période de 1971 à 2000) sur la valeur statique des terres agricoles (en utilisant un modèle ricardien) Le modèle a également inclus les impacts des changements prévus dans les prix du blé, du canola, de la luzerne, de l'orge et du bétail en fonction des changements climatiques : +5 % d'ici 2020, +15 % d'ici 2050 et +25 % d'ici 2080.	Sans objet	Changement moyen prévu de la valeur des terres agricoles en raison des changements climatiques, y compris les changements de prix et de superficie plantée, en Alberta, au Manitoba et en Saskatchewan (en dollars de 2002), selon la spécification du modèle ricardien utilisé : <ul style="list-style-type: none"> • Années 2020 : de +1,1 à 1,7 milliard de dollars par an • Années 2050 : de +1,9 à 2,7 milliards de dollars par an • Années 2080 : de +1,9 à 4,1 milliards de dollars par an 4,1 milliards de dollars, soit l'équivalent de 35 % du PIB agricole des Prairies en 2011 (11,7 milliards de dollars en 2002)

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Zones côtières				
Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) (2011) (nationale et provinciale ou territoriale)	Élévation du niveau de la mer d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +28cm) et élevés (SRES A2 du GIEC; +29cm) Croissance du PIB du Canada d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de croissance lente (+1,3 % par an) et de croissance rapide (+3,0 % par an)	Impacts des inondations permanentes dues à l'élévation du niveau de la mer et des inondations temporaires dues aux ondes de tempête par rapport au scénario de référence « sans changements climatiques » Valeur marchande des logements perdus et coûts directs de réparation et de remplacement des biens endommagés	Coûts annuels des inondations côtières au Canada attribuables aux changements climatiques d'ici 2050 (en dollars de 2008) : • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 0,9 milliard de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 8,1 milliards de dollars Coût total des inondations en valeur actualisée pour la période de 2011 à 2100 (à un taux d'actualisation de 3 %) : de 109 à 379 milliards de dollars	Gamme des coûts annuels des inondations côtières attribuables aux changements climatiques d'ici 2050 (en dollars de 2008) pour des provinces et territoires donnés, selon les deux scénarios de changements climatiques : • C.-B. : de 840 à 7 645 millions de dollars • Man. : de 0 à 2 millions de dollars • Qc : de 5 à 55 millions de dollars • N.-B. : de 10 à 225 millions de dollars • T.-N.-L. : de 7 à 80 millions de dollars • N.-É. : de -10 à -110 millions de dollars • Nt : de 20 à 165 millions de dollars • Î.-P.-É. : de 4 à 55 millions de dollars En Nouvelle-Écosse, des maisons sont abandonnées et non reconstruites (comme dans le cas de référence), d'où les économies de coûts.

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Withey et coll. (2016) (nationale et provinciale ou territoriale)	Impacts en termes de dommages directs de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête pour les années 2050, dans le cadre des scénarios de changements climatiques SRES B1 et A2 du GIEC (TRNEE, 2011) Croissance économique prévue dans sept régions côtières au cours de la période de 2009 à 2054	Impacts en termes de dommages directs des inondations sur les habitations et sur les terres agricoles et forestières dus à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête par rapport au scénario de référence, avec des dommages dans les conditions climatiques actuelles Changements de bien-être prévus (variation compensatoire) et d'indicateurs macroéconomiques provinciaux ou territoriaux par rapport à la situation de référence, en utilisant un modèle IEG	Pertes totales en valeur actualisée pour la période de 2009 à 2054 pour le Canada dans le cadre des scénarios SRES B1 et A2 du GIEC, par rapport aux pertes cumulées dans les conditions climatiques actuelles (en dollars de 2008 et à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> • PIB : de 10 à 70 milliards de dollars • Bien-être : de >1 à 25 milliards de dollars 	Valeur actualisée des pertes totales sur le PIB provincial ou territorial dans le cadre des mêmes scénarios (en dollars de 2008, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> • C.-B. : de 8 à 60 milliards de dollars • N.-B. : de >1 à 2 milliards de dollars • T.-N.-L. : de -1 à 2 milliards de dollars • N.-É. : de 0 à 1 milliard de dollars • Î.-P.-É. : de 0 à >1 milliard de dollars • Qc : de >1 à 8 milliards de dollars • Nt, T.N.-O. et Yn : de >1 à 3 milliards de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Boyer-Villemare et coll., (2016); Circé et coll., (2016a); Parnham et coll., (2016) (Canada atlantique et Québec)	Scénario d'élévation du niveau de la mer pour la période de 2015 à 2064 basé sur le RCP8.5; le scénario d'érosion est basé sur une extrapolation linéaire des taux d'érosion dans le passé; le scénario d'inondation est basé sur les périodes de récurrence prévues pour les inondations Scénario socio-économique statique (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation	Impacts directs de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière Coûts directs des dommages causés aux infrastructures, aux bâtiments et aux terres; pertes directes dues à l'interruption des activités et à la perturbation du trafic; coûts de l'intervention et du rétablissement; gamme d'impacts non liés au marché (p. ex. perte de milieux naturels, perte de patrimoine culturel, déclin de l'utilisation à des fins récréatives)	Sans objet	Coûts directs totaux en valeur actualisée pour 11 sites d'étude de cas, englobant 46 segments côtiers du Québec et du Canada atlantique (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) : 1,2 milliard de dollars Gamme des coûts directs en valeur actualisée par segment côtier (sur l'ensemble des 46 segments) : de 0 à 705 millions de dollars Coûts directs médians en valeur actualisée pour l'ensemble des 46 segments : 1 million de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Wilson et coll., (2012) (région de Tantramar dans le Sud-Est du N.B.)	Scénario d'inondation par onde de tempête avec changements climatiques selon Daigle (2012) Scénario socio-économique statique (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation	Impact des changements climatiques sur les inondations dues aux ondes de tempête Dommages directs aux bâtiments résidentiels, commerciaux, industriels et publics et à leurs contenus; dommages directs aux véhicules; pertes directes en termes de production agricole	Sans objet	Coûts annuels anticipés ⁴ (en dollars de 2000) : <ul style="list-style-type: none">• 2000 : 1,5 million de dollars• 2025 : 1,7 million de dollars• 2055 : 2,2 millions de dollars• 2085 : 3,1 millions de dollars Coûts annuels totaux en valeur actualisée pour la période de 2000 à 2100 (en dollars de 2000, à un taux d'actualisation de 4 %) : 60 millions de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Santé				
L'arrivée et coll. (2015) (Québec)	<p>Pour les risques liés à la chaleur : températures extrêmes et fréquences médianes de l'ensemble des simulations CMIP5 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5</p> <p>Pour les autres résultats sanitaires pris en compte : impacts biophysiques éclairés par la littérature</p> <p>Scénario socio-économique statique (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation</p>	<p>Morbidité et mortalité liées au stress thermique, aux maladies à transmission vectorielle (maladie de Lyme et virus du Nil occidental) et aux aéroallergènes (pollen)</p> <p>Dépenses publiques liées à la santé, paiements pour les jours perdus pour cause de maladie, coûts médicaux privés</p> <p>Mortalité prématurée évaluée au moyen de la valeur d'une vie statistique = 3,6 millions de dollars</p>	Sans objet	<p>Coûts totaux en valeur actualisée pour le gouvernement du Québec pour la période de 2015 à 2064 (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) (moyenne, 10^e et 90^e percentiles) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stress thermique (370 millions de dollars, de 245 à 515 millions de dollars) • Maladie de Lyme (60 millions de dollars, de 40 à 95 millions de dollars) • Virus du Nil occidental (35 millions de dollars, aucun) • Pollen (360 millions de dollars, de 290 à 430 millions de dollars) <p>Pour la société, les coûts totaux moyens en valeur actualisée sont (y compris le coût de la mortalité prématurée) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stress thermique (33 milliards de dollars) • Maladie de Lyme (745 millions de dollars) • Virus du Nil occidental (835 millions de dollars) • Pollen (475 millions de dollars)

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Niveaux d'eau (faible débit)				
L'arrivée et coll. (2016) (fleuve Saint-Laurent, Québec)	<p>Deux scénarios hydrologiques pour le fleuve Saint-Laurent entre la frontière Québec-Ontario et Trois-Rivières (Québec) pendant la période de 2015 à 2064 : 1) écoulements annuels critiques progressivement atteints d'ici les années 2040, se rétablissant partiellement par la suite; 2) écoulements inférieurs au scénario de référence en été et en automne d'ici 2020</p> <p>Scénario socio-économique statique basé sur des données historiques (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation</p>	Impact des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent sur le transport maritime, le traitement des eaux municipales, les services écologiques et la pêche, la navigation de plaisance et le tourisme, la production d'hydroélectricité et la valeur des propriétés riveraines	Sans objet	<p>Total des coûts directs en valeur actualisée pour la période de 2015 à 2064 (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacité de transport perdue : de 40 à 210 millions de dollars • Ventes d'eau perdues : >0,1 million de dollars • Valeur d'usage et revenus perdus provenant de la pêche : 3 220 millions de dollars • Valeur perdue des jours de navigation : de 65 à 75 millions de dollars • Ventes d'hydroélectricité perdues : de 50 à 90 millions de dollars • Réduction de la valeur des propriétés riveraines : 70 millions de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Dorling et Hanniman (2016) (lac Michigan-Huron)	Niveau d'eau moyen prévu pour la période de 2041 à 2060 à partir du scénario pour 2050 envisagé par le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCmaC 2050); valeurs pour les autres années de la période de 2015 à 2064 basées sur une interpolation linéaire Scénario socio-économique statique basé sur des données historiques (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation	Impact des bas niveaux d'eau du lac Michigan-Huron (niveaux prévus par rapport à la moyenne annuelle pour la période de 1918 à 2014) sur la navigation commerciale et les ports, le tourisme et les activités nautiques récréatives, la production d'hydroélectricité et la valeur des propriétés riveraines	Sans objet	Total des coûts directs en valeur actualisée pour la période de 2015 à 2064 (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none">• Coûts supplémentaires d'entretien portuaire : 90 millions de dollars• Capacité d'expédition perdue : 1 840 millions de dollars• Coûts de dragage supplémentaires et perte de revenus locatifs : 7 millions de dollars• Coût de remplacement de la production hydroélectrique perdue : 6 200 millions de dollars• Réduction de la valeur des propriétés riveraines : 535 millions de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Millerd (2005) (réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent)	Simulation des profondeurs d'eau dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent à partir de trois scénarios 2 x CO ₂ (du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique); niveaux d'eau prévus comparés aux niveaux d'eau mensuels moyens normaux pour la période de 1900 à 1989 Situation de référence statique : données sur le transport de marchandises pour 2001	Impact des bas niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (niveaux prévus par rapport à la moyenne annuelle pour la période de 1918 à 2014) sur la navigation commerciale (cargaisons en vrac, marchandises en vrac, produits pétroliers) Coût total d'un voyage du point de départ à la destination (chargement, déchargement et coûts d'exploitation)	Sans objet	Augmentation des coûts annuels de transport maritime (en dollars de 2001) avec les changements climatiques (par rapport à la moyenne annuelle pour la période de 1900 à 1989) : de 20 à 75 millions de dollars (ou +8 à 29 %), en fonction de la vitesse à laquelle les concentrations de CO ₂ doublent

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Exploitation minière				
Perrin et coll. (2015) (route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, T.N.-O.)	Projections pour des variables climatiques d'intérêt déterminé (c.-à-d. les degrés-jours de gel et les degrés-jours de fonte) dans le cadre du RCP8.5 pour les années 2020 et 2050 (par rapport à la norme pour la période de 1981 à 2010) Situation de référence statique : utilisation moyenne des routes (demande) pour la période de 2002 à 2012	Impact des changements climatiques sur la durée de la saison d'exploitation (p. ex. ouverture tardive, fermeture précoce, pas d'ouverture) de la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto (TCWR), une route d'accès à la mine construite principalement sur des lacs gelés dans les T.N.-O. Coût direct des modes de transport de remplacement et pertes de production directes dans les mines concernées	Sans objet	Coûts directs totaux annuels moyens (base de prix non spécifiée) : 215 millions de dollars (dont 150 millions de dollars de pertes de production et 65 millions de dollars de coûts liés au transfert modal), avec une probabilité de 60 % que les coûts dépassent la moyenne

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Loisirs hivernaux – stations de ski				
DaSilva et coll. (2019) (Mont Orford, Mont Sutton et Bromont, Québec)	<p>Valeur moyenne (et 10^e et 90^e percentiles) des variables climatiques pertinentes pour dix scénarios d'émissions couvrant les quatre RCP pour la période de 2020 à 2050.</p> <p>Projection de la fréquentation de chaque station (Mont Orford, Mont Sutton, Bromont) pour la période de 2020–2021 à 2049–2050, couvrant 30 saisons (les équations de la demande ont été estimées, incluant des variables pour les conditions météorologiques et d'enneigement)</p>	<p>Impact des changements climatiques sur le début et la durée de la saison de ski, le domaine skiable et les conditions d'enneigement pour les trois stations de ski en 2050, par rapport à 2020</p> <p>Coûts d'exploitation directs (p. ex. électricité, entretien, salaires) et variations directes des revenus résultant des changements dans la fréquentation des skieurs (abonnements journaliers et saisonniers, restauration, etc.)</p>	Sans objet	<p>Changement dans les revenus directs globaux pour les trois stations pour la période de 2045 à 2049 par rapport à la période de 2020 à 2024 (en dollars de 2015) : -2,1 millions de dollars (-6,4 %)</p> <p>Changement dans les coûts d'exploitation globaux directs : 1 million de dollars (-3,4 %)</p> <p>Changement dans le revenu net global direct : -1,1 million de dollars (-29,2 %)</p>

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Butsic et coll. (2011) (Whistler et Fernie, C.B.)	Les projections des chutes de neige équivalentes aux précipitations totales (ou « intensité des chutes de neige ») ont été construites à partir des projections de température et de précipitations (moyenne de l'ensemble) pour les années 2050 en utilisant le scénario SRES A2 du GIEC (par rapport à la norme pour la période de 1971 à 2000). Situation de référence statique : Modèle hédonique des prix de l'immobilier estimé à l'aide des données sur les transactions immobilières de la période de 1980 à 2006	Impacts des changements d'origine climatique sur l'« intensité des chutes de neige » (moyenne mobile sur cinq ans) d'ici les années 2050 sur les prix des maisons à Whistler (C.-B.) et à Fernie (C.-B.)	Sans objet	Réduction des prix des maisons à proximité des stations de ski en Colombie-Britannique (variation en % par rapport à la moyenne pour la période de 1980 à 2006) : <ul style="list-style-type: none"> • Whistler : -3,2 % pour chaque diminution prévue de 1 % de l'intensité des chutes de neige • Fernie : -1,1 % pour chaque diminution prévue de 1 % de l'intensité des chutes de neige Les projections de l'intensité des chutes de neige et les diminutions totales en dollars de la valeur des maisons n'ont pas été fournies pour les stations de la Colombie-Britannique, uniquement pour les stations des États-Unis

¹ Les « pertes totales en valeur actualisée » sont la somme actualisée des coûts encourus chaque année entre, dans le cas présent, 2010 et 2080. Voir la section 6.6.3.2 et l'annexe 6.3 sur les motifs de l'actualisation des coûts et du choix du taux d'actualisation.

² Les augmentations prévues des coûts de suppression des incendies de forêt estimées par cette étude pourraient être interprétées comme des dépenses d'adaptation réactive. Il existe un coût d'option réel associé à ces dépenses supplémentaires, qui ne seraient pas engagées en l'absence de changements climatiques. Cette étude est donc incluse dans le tableau.

³ Les coûts ou pertes annuels moyens correspondent à la variation moyenne par an sur une période définie (par exemple, de 2071 à 2100).

⁴ L'utilisation du terme « prévu » signifie que les coûts annuels moyens estimés ont une pondération probabiliste.

Note : Les conséquences économiques estimées des changements climatiques dans ce tableau supposent qu'aucune nouvelle adaptation n'est prévue, par rapport au scénario de référence.

Annexe 6.2 : Résumé de quelques études choisies sur les conséquences économiques des changements climatiques pour les municipalités canadiennes

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) (2011)	Toronto (Ont.); Vancouver (C.-B.); Calgary (Alb.); Montréal (Qc)	<p>Changement de la température annuelle moyenne au Canada d'ici 2075 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +4,3 °C) et élevés (SRES A2 du GIEC; +5,3 °C)</p> <p>Croissance du PIB du Canada dans le cadre de deux scénarios : croissance lente (+1,3 % par année) et croissance rapide (+3,0 % par année)</p>	<p>Résultats sanitaires associés à des étés plus chauds (décès prématurés liés à la chaleur) et à une mauvaise qualité de l'air (maladies et décès prématurés)</p> <p>Dépenses de soins de santé, pertes de bien-être</p> <p>Mortalité prématurée évaluée en utilisant la valeur d'une vie statistique : 6,1 millions de dollars par décès</p>	<p>Coût total en valeur actualisée¹ de la mortalité prématurée attribuable aux impacts de la chaleur et de la qualité de l'air pour la période de 2010 à 2100 dans le cadre du scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente, et du scénario de forts changements climatiques et de croissance rapide (en dollars de 2008, à un taux d'actualisation de 3 %) :</p> <ul style="list-style-type: none">• Calgary : de 11 à 17 milliards de dollars• Montréal : de 52 à 77 milliards de dollars...Toronto : de 65 à 96 milliards de dollars• Vancouver : de 36 à 48 milliards de dollars <p>Valeur actualisée des dépenses totales de santé selon les mêmes scénarios que ceux décrits ci-dessus (en dollars de 2008, à un taux d'actualisation de 3 %) :</p> <ul style="list-style-type: none">• Calgary : de 16 à 54 milliards de dollars• Montréal : de 54 à 213 milliards de dollars• Toronto : de 72 à 285 milliards de dollars• Vancouver : de 46 à 140 milliards de dollars

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Thistlethwaite et coll. (2018)	Municipalité régionale d'Halifax (N.-É.)	<p>Intensité prévue des précipitations sur 24 heures dans le cadre du RCP2.6 et du RCP8.5 pour les périodes de 2015 à 2045, de 2035 à 2065 et de 2065 à 2095, par rapport à la période de 1955 à 2009 (conditions historiques)</p> <p>Situation de référence statique : 54 000 logements résidentiels individuels dans la municipalité régionale d'Halifax</p>	<p>Impacts des inondations fluviales déclenchées par les pluies sur les immeubles résidentiels</p> <p>Pertes assurées (coûts directs de réparation et de remplacement des biens mobiliers et immobiliers endommagés)</p>	<p>Pertes annuelles moyennes assurées² dans les conditions climatiques actuelles : 543 000 dollars</p> <p>Pertes annuelles moyennes assurées avec les changements climatiques dans le cadre du RCP8.5 :</p> <ul style="list-style-type: none">• D'ici 2050 : 1,3 million de dollars (+137 %)• D'ici 2100 : 2,2 millions de dollars (+300 %)

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Boyd (2018)	Edmonton (Alb.)	<p>Scénario de référence pour 2018 : probabilité annuelle de 17 phénomènes extrêmes (à un niveau d'intensité donné) et degrés-jours sur la base des données de 1981 à 2010</p> <p>Projections des changements dans les probabilités de phénomènes extrêmes (intensité constante) et les degrés-jours pour les années 2050 et 2080 dans le cadre du RCP8.5</p> <p>Conditions socio-économiques de référence définies par les données de 2018</p> <p>Scénario socio-économique prévu pour les années 2050 et les années 2080; basé sur les prévisions de population et de logement, les études de croissance des villes, les prévisions des prix et les relations estimées à partir des données historiques</p>	<p>Impacts liés au marché et non liés au marché des changements dans la probabilité de phénomènes climatiques extrêmes et changements dans les degrés-jours de chauffage et de refroidissement dans le cadre d'un scénario à fortes émissions par rapport au scénario de référence de 2018</p> <p>Dommages directs (coûts de réparation et de remplacement) aux bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, aux contenus des habitations, aux inventaires des entreprises, aux nombreuses infrastructures et à l'environnement naturel; impacts directs sur la santé et la sécurité; pertes directes dues à l'interruption des activités; pertes indirectes et induites résultant des impacts directs liés au marché (estimées à l'aide de multiplicateurs d'intrants-extrants au niveau municipal)</p>	<p>Coûts sociaux nets annuels moyens attendus³ (en dollars de 2016, non actualisés) attribuables à l'impact des changements climatiques sur les phénomènes extrêmes et la demande de chauffage et de refroidissement en :</p> <ul style="list-style-type: none">• 2055 : +4,7 milliards de dollars• 2085 : +10,3 milliards de dollars <p>Coûts annuels moyens nets prévus pour le PIB en :</p> <ul style="list-style-type: none">• 2055 : + 1,6 milliard de dollars (1,6 % du PIB prévu)• 2085 : +3,5 milliards de dollars (1,9 % du PIB prévu)

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Bureau d'assurance du Canada (2015)	Halifax (N.-É.); Mississauga (ON)	<p>Scénario de référence pour 2015 : intensité et période de récurrence des inondations dues aux ondes de tempête et aux vents extrêmes (municipalité régionale d'Halifax) et des inondations dues aux eaux pluviales et aux pluies verglaçantes (Mississauga), selon les données historiques des 20 à 50 dernières années</p> <p>Projections des phénomènes extrêmes pour 2020 et 2040 dans le cadre des scénarios d'émissions « modérés » (RCP4.5 ou SRES B1 ou B2 du GIEC) et « élevés » (RCP8.5 ou SRES A2 du GIEC) (provenant de diverses sources)</p> <p>Conditions socio-économiques de référence définies par les données de 2015</p> <p>Scénario socio-économique prévu pour 2020 et 2040, déterminé par les prévisions démographiques et les plans d'aménagement du territoire, ainsi que par les tendances historiques de croissance du PIB</p>	<p>Impacts liés au marché des phénomènes extrêmes liés aux changements climatiques dans le cadre des scénarios à émissions modérées et élevées par rapport au scénario de référence</p> <p>Dommages directs (coûts de réparation et de remplacement) aux bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, aux contenus des habitations, aux lignes de transport d'électricité, plus les pertes directes dues à l'interruption des activités; pertes indirectes et induites résultant des impacts directs (estimées à l'aide de multiplicateurs d'intrants-extrants au niveau municipal)</p>	<p>Coûts cumulatifs prévus du PIB⁴ attribuables aux changements climatiques au cours de la période de 2015 à 2040 pour les scénarios d'émissions modérées et élevées (en dollars de 2013, non actualisés) pour la municipalité régionale d'Halifax :</p> <ul style="list-style-type: none">• Inondations dues aux ondes de tempête : de 25 à 35 millions de dollars• Vents extrêmes : de 65 à 140 millions de dollars <p>Coûts cumulatifs prévus du PIB attribuables aux changements climatiques pour la période de 2015 à 2040 pour les mêmes scénarios que ceux décrits ci-dessus (en dollars de 2013, non actualisés) pour Mississauga :</p> <ul style="list-style-type: none">• Inondations dues aux eaux pluviales : de 30 à 70 millions de dollars• Pluies verglaçantes : de 28 à 31 millions de dollars

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Lantz et coll. (2012)	Fredericton (N.-B.)	<p>Scénarios de fréquence de récurrence des inondations les plus optimistes et les plus pessimistes élaborés à partir des résultats de modèles de circulation générale à échelle réduite (pour les années 2020, les années 2050 et les années 2080) et des projections de l'élévation du niveau de la mer, qui a une incidence sur les hauteurs de pointe des inondations</p> <p>Scénario de croissance démographique prévu pour les 50 prochaines années (faible : -0,6 %; élevé : +23 %)</p>	<p>Impacts des inondations d'eau douce le long de la rivière Saint-Jean à Fredericton</p> <p>Coûts directs liés au marché pour le gouvernement (p. ex. services d'urgence, nettoyage et restauration, hébergement temporaire); les entreprises (p. ex. dommages aux biens et aux inventaires, coûts d'exploitation supplémentaires); les ménages (p. ex. dommages mobiliers et immobiliers, coûts de déplacement temporaire, temps de travail perdu)</p> <p>Coûts non liés au marché pour les ménages (p. ex. perturbation des transports, santé mentale, perte de temps de loisirs) recueillis par un sondage à méthode d'évaluation des contingences (compensation de consentement à accepter minimale)</p>	<p>Coûts directs annuels moyens anticipés dus aux changements climatiques (base de prix inconnue) :</p> <ul style="list-style-type: none">• Scénario de fréquence de récurrence des inondations la plus pessimiste et de population élevée : 13,2 millions de dollars (dont 7,9 millions de dollars de coûts liés au marché et 5,3 millions de dollars de coûts non liés au marché)• Scénario de fréquence de récurrence des inondations la plus pessimiste et de faible population : 5,3 millions de dollars (dont 4 millions de dollars de coûts liés au marché et 1,3 million de dollars de coûts non liés au marché)• Scénario de climat optimal et de faible population : -0,12 million de dollars (dont 0,09 million de dollars de coûts liés au marché et 0,03 million de dollars de coûts non liés au marché)• Scénario de climat optimal et de population élevée : -0,32 million de dollars (dont 0,18 million de dollars de coûts liés au marché et 0,14 million de dollars de coûts non liés au marché)

¹ Le coût total en valeur actualisée est la somme actualisée des coûts encourus chaque année entre 2010 et 2100. Voir la section 6.6.3.2 et l'annexe 6.3 sur les motifs de l'actualisation des coûts et du choix du taux d'actualisation.

² La perte (ou le coût) annuel moyen est la perte (ou le coût) moyen par an sur une période définie (p. ex. entre 2050 et 2100).

³ L'utilisation du terme « prévu » signifie que les coûts annuels moyens estimés ont une pondération probabiliste.

⁴ Dans le cas présent, le coût cumulé est la somme non actualisée des coûts encourus chaque année entre 2015 et 2040.

Annexe 6.3 : Qu'est-ce que l'actualisation?

La valeur attachée aujourd'hui au fait de recevoir un dollar dans un an s'exprime comme suit :

$$1/(1 + d)$$

Où d est le taux d'actualisation. Si d était de 0,05 (5 %), la valeur d'un dollar dans un an serait de 95 cents aujourd'hui. Si le taux d'actualisation est constant et que l'on veut connaître la valeur d'un dollar dans deux ans, les 95 cents baisseront encore de 5 % la deuxième année et vaudront 91 cents aujourd'hui. L'expression mathématique de ce phénomène pourrait s'écrire comme suit :

$$1/(1 + 0.05)^2 = 0.91 \times \$1 = \$0.91$$

Si l'on prolonge cette opération sur plusieurs années, on obtient une valeur qui diminue de façon géométrique.

Par conséquent, si une personne investit un dollar aujourd'hui, elle devra obtenir un rendement d'au moins 1,05 dollar dans un an pour considérer que l'investissement en vaut la peine. De même, l'avantage requis dans deux ans serait de $(1,05 \$)^2 = 1,05 \$ \times 1,05 \$ = 1,103 \$$. Dans T ans, le montant nécessaire pour rentabiliser l'investissement devrait être de $(1 + d)^T$.

Concrètement, les avantages d'un investissement en matière d'adaptation s'accumulent en principe sur plusieurs années, auquel cas la comparaison doit être faite entre l'investissement actuel et la somme de ces avantages dans les années futures, chacun étant actualisé à partir de l'année où il se produit. Cette somme est appelée la valeur actuelle (VA) et s'écrit comme suit :

$$PV = \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1 + d)^t}$$

Où B_t représente l'avantage de l'adaptation à l'année t en termes monétaires.

Annexe 6.4 : Résumé de quelques évaluations économiques choisies de mesures d'adaptation au Canada qui utilisent un outil d'analyse coûts-avantages

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Foresterie				
Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) (2011) (nationale et par province)	Impacts des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies sur l'offre de bois; changements dans la productivité des forêts	1) Améliorer la prévention, le contrôle et la suppression des incendies de forêt 2) Améliorer la lutte contre les ravageurs 3) Planter des espèces d'arbres adaptées au climat futur Coûts globaux d'adaptation pour les trois mesures (valeur actualisée pour la période de 2010 à 2080, en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques : 2,3 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés 3,6 milliards de dollars 	Valeur actualisée sur 70 ans (2010–2080) Taux d'actualisation constant : 3 % par année En dollars de 2008 (les avantages de l'adaptation ont été mesurés en fonction d'un changement dans la variation de la compensation du bien-être)	Rapport avantages-coûts combiné pour les trois mesures d'adaptation : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 9,1 • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 38,1 Valeur actualisée des dommages résiduels totaux après adaptation (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 4,6 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 37,1 milliards de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Ochuodho et coll. (2012) (nationale et par province)	Impacts pessimistes (pire des cas) et optimistes (meilleur des cas) des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies sur l'offre de bois; changements dans la productivité des forêts	1) Renforcer la prévention et la lutte contre les ravageurs 2) Renforcer la prévention, la maîtrise et la suppression des incendies de forêt 3) Planter des espèces différentes plus adaptées aux conditions futures Coûts globaux d'adaptation pour les trois mesures (valeur actualisée pour la période de 2010 à 2080, en dollars de 2008, l'intervalle reflète les scénarios les plus optimistes et les plus pessimistes) : <ul style="list-style-type: none">• Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : de 1,3 à 3,4 milliards de dollars• Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : de 2 à 5,3 milliards de dollars	Valeur actualisée nette sur 70 ans (2010–2080) Taux d'actualisation constant : 3 % par année En dollars de 2008	Valeur actualisée nette combinée pour les trois mesures d'adaptation (en dollars de 2008; l'intervalle reflète les scénarios les plus optimistes et les plus pessimistes) : <ul style="list-style-type: none">• Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : de 16,6 à 19,6 milliards de dollars• Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : de 171,2 à 243,1 milliards de dollars

Santé

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
TRNEE (2011) (Toronto)	Décès prématurés associés à des étés plus chauds et à une qualité de l'air moindre	<p>1) Toits verts : réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain de 1 °C grâce à l'adoption généralisée de toits verts</p> <p>2) Améliorer la qualité de l'air : installer des technologies de contrôle de la pollution pour éliminer les émissions génératrices d'ozone attribuables aux changements climatiques</p> <p>Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars de 2008) :</p> <p>1) 7,3 milliards de dollars (installations pour la période de 2035 à 2050, maintenues jusqu'en 2059)</p> <p>2) de 0,7 à 3,1 milliards de dollars (installations pour la période de 2050 à 2059 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles et élevés)</p>	<p>Valeur actualisée sur dix ans (2050–2059)</p> <p>Taux d'actualisation constant : 3 % par année</p> <p>En dollars de 2008</p>	<p>Rapport avantages-coûts pour l'option 1 :</p> <ul style="list-style-type: none">• Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : <0,3• Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : >0,3 <p>Rapport avantages-coûts pour l'option 2 :</p> <ul style="list-style-type: none">• Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 4,0• Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 1,6 <p>Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation (en dollars de 2008) pour l'option 1 :</p> <ul style="list-style-type: none">• Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 2,0 milliards de dollars• Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 4,2 milliards de dollars <p>Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation pour l'option 2 :</p> <ul style="list-style-type: none">• Aucun dommage résiduel puisqu'il est supposé que les mesures compensent entièrement les impacts des changements climatiques sur la santé.

Exploitation minière

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Rodgers et Douglas (2015) (Sudbury Integrated Nickel Operation de Glencore, Ontario)	Pluies et inondations extrêmes; niveaux d'eau élevés et faibles	Options inconnues pour gérer cinq déclencheurs environnementaux : 1) niveaux d'eau élevés; 2) faibles niveaux d'eau; 3) pluies intenses; 4) faible risque d'inondation; 5) risque d'inondation élevé Coûts d'adaptation non précisés	Récupération des coûts sur une période de 39 ans Taux d'actualisation constant : 2 % par année	Seuil de récupération des coûts atteint par les mesures d'adaptation pour gérer les déclencheurs environnementaux 2), 3) et 5).
Perrin et coll. (2015) (route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, T.N.-O.)	Impact des changements sur la durée de la saison d'exploitation (ouverture tardive, fermeture précoce, pas d'ouverture) de la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, une route d'accès à la mine construite principalement sur des lacs gelés dans les T.N.-O.	1) Flexibilité de la planification (saison plus courte) 2) Augmentation de la construction et de l'entretien des routes de glace 3) Augmentation de la construction et de l'entretien des portages 4) Augmentation de la construction et de l'entretien des rampes Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en millions de dollars) (moyenne, 10 ^e et 90 ^e percentiles) pour chaque option : 1) 44 \$, de 28 \$ à 59 \$ 2) 5,8 \$, de 5,2 \$ à 6,4 \$ 3) 5,3 \$, de 4,7 \$ à 5,8 \$ 4) 0,3 \$, de 0,2 \$ à 0,4 \$	Valeur actualisée sur 35 ans Taux d'actualisation constant : 4 % par année Base de prix non précisée	Valeur actualisée nette pour le lot d'actions (millions de dollars) (moyenne, 10 ^e et 90 ^e percentiles) : 160 \$, de -30 \$ à 305 \$ Les valeurs actualisées nettes ci-dessus reflètent la différence de coûts actualisés entre un « scénario de conditions critiques » (comprenant les coûts du transfert modal et les pertes de production dans les mines) et un « scénario d'adaptation » (avec les quatre mesures d'adaptation)

Niveaux d'eau

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
L'arrivée et coll. (2016) (fleuve Saint-Laurent, Québec)	Impact des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent sur le transport maritime, le traitement des eaux municipales, les services écologiques et la pêche, la navigation de plaisance et le tourisme, la production d'hydroélectricité et la valeur des propriétés riveraines	<p>Options relatives au transport maritime :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) dragage 2) réduire au minimum la profondeur d'eau sous quille 3) une combinaison des deux <p>Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars de 2012) pour chaque option :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 8,8 millions de dollars 2) 3,2 millions de dollars 3) 12 millions de dollars <hr/> <p>Options relatives au traitement des eaux municipales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modifier ou remplacer les pompes existantes par des pompes capables de fonctionner à des niveaux inférieurs • Augmenter ou réorganiser les systèmes de prise d'eau pour réduire les risques de perte de charge hydraulique et les contraintes hydrauliques 	<p>Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064)</p> <p>Taux d'actualisation constant : 4 % par année</p> <p>En dollars de 2012</p>	<p>Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses pour chaque option, la gamme étant définie par deux scénarios hydrologiques hypothétiques : (a) des écoulements annuels critiques progressivement atteints d'ici les années 2040, se rétablissant partiellement par la suite, et (b) des écoulements en été et en automne inférieurs à la référence d'ici 2020 :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) de 37 à 26,1 millions de dollars (1,5 à 1,4) 2) de 24,3 à 20 millions de dollars (1,9 à 1,7) 3) de 46,4 à 26,2 millions de dollars (1,5 à 1,3) <hr/> <p>Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Station 1 : -0,1 million de dollars (<0,1) • Station 2 : -2,3 millions de dollars (<0,01) <p>Les résultats ci-dessus ne concernent que le scénario hydrologique hypothétique (a).</p> <p>Les avantages ne comprennent que la valeur du marché de la production d'eau perdue. Ils ne tiennent pas compte de la valeur de la perturbation de l'approvisionnement en eau pour les consommateurs.</p>

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
L'arrivée et coll. (2016) (fleuve Saint-Laurent, Québec) (continué)		Valeur actualisée des coûts d'adaptation pour deux études de cas portant sur des stations municipales de traitement de l'eau (en millions de dollars de 2012) : <ul style="list-style-type: none">• Station 1 : 0,1 million de dollars• Station 2 : 2,3 millions de dollars		Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses pour l'ensemble des mesures : Pour le scénario hydrologique (a) et sur la base de coûts d'adaptation pessimistes : 225 millions de dollars (1,2) Pour le scénario hydrologique (b) et sur la base de coûts d'adaptation pessimistes : 2,265 millions de dollars (3,3)
		Options relatives aux services écologiques et à la pêche : <ul style="list-style-type: none">• Restauration des zones riveraines• Restauration de la plaine inondable• Changement des pratiques agricoles• Traitement plus efficace des eaux usées• Protection et restauration de l'habitat• Éducation et sensibilisation Valeur actualisée des coûts d'adaptation pour l'ensemble des mesures (en dollars de 2012) : 560 millions de dollars (coût optimiste : 345 millions de dollars, coût pessimiste : 1 005 millions de dollars)		

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Dorling et Hanniman (2016) (lac Michigan-Huron)	Impacts des faibles niveaux d'eau (scénario le plus pessimiste)	1) Seuils submergés (+21 cm de niveau d'eau) 2) Dignes fixes remplies de roches (+16 cm) 3) Dignes et déversoirs parallèles (+16 cm) 4) Vannes à clapet gonflables (+16 cm) 5) Turbines hydrocinétiques (+19 cm) Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars US de 2012) : 1) de 40,6 millions de dollars (sans délai, construction par étapes) à 64,3 millions de dollars (délai de 20 ans, construction sans étapes) 2) de 55,4 à 47,4 millions de dollars 3) de 102,6 à 78,0 millions de dollars 4) de 145,6 millions à 83,1 millions de dollars 5) de 215,8 à 140,4 millions de dollars	Valeur actualisée nette pour deux scénarios de construction : construction immédiate (2015–2064) et construction retardée (2015–2084). Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars US de 2012	Fourchette en valeur actualisée nette pour chaque option (en dollars US de 2012) dans les deux scénarios de construction : 1) de 235 à 50 millions de dollars 2) de 55 à 45 millions de dollars 3) de 100 à 80 millions de dollars 4) de 135 à 5 millions de dollars 5) de 125 à -25 millions de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Agriculture				
Berry et coll. (2017) (Pelly's Lake, Manitoba)	Impact du stress hydrique (disponibilité de l'eau) sur le rendement des cultures agricoles (canola, blé, luzerne, orge)	Bassins de rétention d'eau à Pelly's Lake et système d'irrigation Coûts du bassin de rétention et des infrastructures d'irrigation (en dollars de 2015) : 160,00 dollars par hectare	Revenu brut et marge brute par hectare (non actualisé) En dollars de 2015	Différence moyenne des marges brutes des cultures sans irrigation et avec bassins et irrigation (et coûts associés) pour la période de 2050 à 2059 (en dollars de 2015 par hectare) : <ul style="list-style-type: none"> • RCP2.6 : -148 • RCP4.5 : -146 • RCP8.5 : -147 Différence moyenne des marges brutes des cultures sans irrigation et avec bassins et irrigation (et coûts associés) pour la période de 2090 à 2099 (en dollars de 2015 par hectare) : <ul style="list-style-type: none"> • RCP2.6 : -146 • RCP4.5 : -147 • RCP8.5 : -148 La disponibilité de l'eau d'irrigation a augmenté la production agricole, mais l'augmentation du revenu brut qui en a résulté n'est pas suffisant pour compenser les coûts des bassins et du système d'irrigation.

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Loisirs hivernaux – ski en station				
DaSilva et coll. (2019) (Mont Orford, Mont Sutton et Bromont, Québec)	Impact sur le début de la saison de ski, la durée de la saison de ski, le domaine skiable et les conditions d'enneigement pour trois stations de ski au Québec	Options pour Bromont : B1) Augmenter la capacité de production de neige artificielle B2) Pistes de ski synthétiques B3) Diversifier les activités pour la clientèle d'entreprise Options pour le Mont Sutton : S1) Augmenter la capacité de production de neige artificielle S2) Améliorer les infrastructures pour accroître la qualité de l'expérience S3) Développer une capacité d'accueil S4) Renforcer la capacité de pratique du vélo de montagne Options pour le Mont Orford : O1) Optimiser la capacité existante de production de neige artificielle O2) Augmenter la capacité de production de neige artificielle O3) Prolonger les heures d'ouverture sur certaines parties de la montagne O4) Augmenter la capacité des pistes de niveau débutant et intermédiaire O5) Investir dans des activités estivales O6) Coordination régionale des activités offertes	Valeur actualisée nette pour la période de 2020–2024 à 2045–2049 Taux d'actualisation constant : 4 % En dollars de 2015	Les valeurs en dollars des valeurs actualisées nettes estimées n'ont pas été fournies; l'étude a seulement indiqué si les mesures d'adaptation avaient une valeur actualisée nette positive ou négative. Seules les mesures d'optimisation de la fabrication de neige artificielle au Mont Orford (O1) avaient une valeur actualisée nette positive (c.-à-d. qu'elles ont passé un test coûts-avantages). Ce résultat est valable pour les dix scénarios d'émissions considérés dans l'analyse.

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Zones côtières				
TRNEE (2011) (nationale et par province)	Impacts des inondations permanentes dues à l'élévation du niveau de la mer et des inondations temporaires dues aux ondes de tempête	1) Planification éclairée de l'aménagement : éviter tout nouveau projet d'aménagement dans les zones exposées aux risques d'inondation 2) Retraite stratégique : reconstruire les maisons dans des zones qui ne sont pas exposées aux inondations Coûts d'adaptation supposés nuls pour les options 1 et 2	Valeur actualisée nette sur 90 ans (2010–2100) Taux d'actualisation constant : 3 % par année En dollars de 2008	Valeur actualisée nette pour l'option 1 (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 4,3 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 55,1 milliards de dollars Valeur actualisée nette pour l'option 2 (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 16,7 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 173 milliards de dollars Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation (en dollars de 2008) pour l'option 1 : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 13,2 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 127 milliards de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
TRNEE (2011) (nationale et par province) (continué)				Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation (en milliards de dollars de 2008) pour l'option 2 : <ul style="list-style-type: none">• Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 0,9 milliard de dollars• Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 9,1 milliards de dollars
Wilson et coll. (2012) (région de Tantramar dans le Sud-Est du N.-B.)	Impact des inondations dues aux ondes de tempête	1) Élévation de la digue 2) Déménagement de l'infrastructure 3) Élévation de la digue et déménagement Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars de 2000) pour les options ci-dessus : 1) 1,3 million de dollars 2) 10,3 millions de dollars (le déménagement a lieu sur 20 ans) 3) 11,5 millions de dollars	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2000–2100) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2000	Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses pour chaque option : 1) 40 millions de dollars (31,0) 2) 20 millions de dollars (2,9) 3) 35 millions de dollars (4,0) Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation pour chaque option (en dollars de 2000) : 1) 19 millions de dollars 2) 29,3 millions de dollars 3) 12,7 millions de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (isthme de Chignecto, N.-É. et N.-B.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	<ol style="list-style-type: none">1) Élever les digues agricoles existantes à 10 m2) Combinaison de l'élévation des digues à 10 m, du raccourcissement des sections et de l'élévation de l'infrastructure3) Construire de nouvelles digues artificielles pardessus les digues existantes4) Construire de nouvelles digues artificielles (sections raccourcies, protégeant uniquement les infrastructures publiques)5) Construire de nouvelles digues artificielles (sections raccourcies, protégeant toutes les infrastructures)6) Déménager la route	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts (cas sans impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) 0,5 2) 0,6 3) 1,1 4) 0,9 5) 1,5 6) 0,3 Rapport avantages-coûts (cas avec impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) 1,8 2) 1,9 3) 3,9 4) 3,2 5) 5,0 6) 1,0

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (havre de Halifax, N.-É.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	1) Construire un ouvrage longitudinal 2) Élever les structures	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts (cas avec route et sans impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) de 0,01 à 0,08 2) de 0,01 à 0,50 Rapport avantages-coûts (cas avec voie ferrée et impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) de 1,8 à 2,6 2) de 0,5 à 4,3
Parnham et coll. (2016) (route côtière de North Cape, Kildare, Î.P.É.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) réactive, maintien des activités comme d'habitude 2) planifiée (niveau minimal d'adaptation : stabilisation du littoral) 3) planifiée (niveau d'adaptation moyen : installer une digue pour protéger le parc) 4) planifiée (niveau maximal d'adaptation : utilisation de l'option d'adaptation la plus appropriée afin de pouvoir poursuivre les activités courantes) 5) déménager le parc, les résidents saisonniers restent 6) déménager le parc, les résidents saisonniers quittent	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,9 2) 1,0 3) 0,8 4) 0,5 5) 0,6 6) 1,2

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (havre Tracadie, Î.P.É.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) réactive, maintien des activités comme d'habitude 2) planifiée (niveau d'adaptation moyen : installer une digue) 3) planifiée (niveau maximal d'adaptation : installer une digue et surélever les bâtiments et les routes) 4) fermer le quai, protéger les propriétés privées 5) abandonner tout	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,8 2) 0,4 3) 0,6 4) 0,3 5) 0,3
Parnham et coll. (2016) (Bay Bulls – Witless Bay, T.N.-L.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	Solutions techniques réparties à six sites, impliquant principalement l'élévation ou le déménagement d'infrastructures	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts : de 0,01 à 20,6 (selon le site et l'adaptation)
Parnham et coll. (2016) (Marystown, T.N.-L.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	Solutions techniques réparties à six sites, impliquant principalement l'élévation de routes, de terrains et de bâtiments, ainsi que la construction d'ouvrages longitudinaux	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts : de 0,01 à 20,5 (selon le site et l'adaptation)

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Aubé et coll. (2016) (Le Goulet, N.-B.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion	1) Digue 2) Rechargement des plages 3) Rechargement des plages avec brèche	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2016–2116) Constante Base de prix inconnue	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,6 2) 1,9 3) 1,6
Aubé et coll. (2016) (Sainte-Marie–Saint-Raphaël, Cap-Bateau, Pigeon Hill, N.-B.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion	1) Déménagement des maisons à risque 2) Instaurer des mesures de contrôle de l'érosion	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2016–2116) Taux d'actualisation constant : 3 % par année Base de prix inconnue	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,3 2) 0,4
Aubé et coll. (2016) (Shippagan et Pointe-Brûlée, N.-B.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion	1) Modification du zonage pour établir une zone de retraite et d'hébergement 2) Modification du zonage, en supposant qu'il n'y ait pas d'impact sur la valeur des biens immobiliers	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2016–2116) Taux d'actualisation constant : 3 % par année Base de prix inconnue	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 1,6 2) 2,2

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Circé et coll. (2016a) (Percé, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages 2) Retrait planifié	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) de 1,62 à 68,4 2) de 1,0 à 1,4
Circé et coll. (2016a) (Maria, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages et épis 2) Retrait planifié et élévation de l'infrastructure	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) 1,1* 2) de 1,1 à 3,6
Circé et coll. (2016a) (Carleton-sur-Mer, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages 2) Retrait planifié 3) Rechargement des plages et épis 4) Élévation de l'infrastructure 5) Retrait planifié et élévation de l'infrastructure	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) 2,1* 2) 1,3* 3) 1,6* 4) 1,7* 5) de 0,3 à 1,8

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Circé et coll. (2016a) (Îles-de-la-Madeleine, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages 2) Empierrement 3) Retrait planifié	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) 25,8* 2) de 1,1 à 4,6 3) de 1,0 à 1,7
Circé et coll. (2016a) (Kamouraska, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	Retrait planifié et élévation de l'infrastructure	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts : 1,4

Remarque : Dans la dernière colonne, pour chaque identification, les chiffres en vert indiquent que les mesures d'adaptation envisagées satisfont au test d'efficacité économique (c.-à-d. que la valeur actualisée nette (VAN) estimée > 0 ou le rapport avantages-coûts > 1); les chiffres en rouge indiquent que les mesures d'adaptation envisagées ne satisfont pas au test d'efficacité économique (c.-à-d. que la VAN estimée < 0 ou le rapport avantages-coûts < 1).

*Lorsque seule la valeur est indiquée, l'option d'adaptation en question n'a été utilisée que dans un seul segment côtier.

Annexe 6.5 : Utilisation des pondérations d'équité pour tenir compte de la répartition des coûts et des avantages

Si les personnes qui tirent parti d'une mesure d'adaptation ou qui en assument les coûts appartiennent à des classes de revenus différentes, il est possible d'en tenir compte explicitement en appliquant des pondérations distributives en fonction de leurs niveaux de revenus relatifs. La pondération attribuée à une personne dans le groupe avec le revenu annuel i est donnée par w_i , où w_i :

$$w_i = \left[\frac{\bar{Y}}{Y_i} \right]^\varepsilon$$

Et \bar{Y} est le revenu moyen du groupe de référence choisi (p. ex. le troisième quintile de revenu) et ε est défini comme le paramètre d'aversion pour l'inégalité. Des estimations de ε ont été faites dans la littérature révélant une estimation centralisée de 1,5 [1,0-2,0] (Groom et Maddison, 2018).

L'exemple suivant montre comment les pondérations fonctionneraient. Supposons que la population concernée ait un revenu annuel moyen de 20 000 dollars. Les coefficients de pondération à attribuer aux avantages dont tirent parti les individus à différents niveaux de revenu sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

REVENU (\$)	PONDÉRATION	
	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 2$
5 000	4	16
10 000	2	4
20 000	1	1
50 000	0,4	0,16
100 000	0,2	0,04

Une réduction des dommages liés aux changements climatiques de 1 \$ pour une personne ayant un revenu de 5 000 \$ se verrait attribuer une valeur de 4 \$ dans l'analyse économique si ε est considéré être de 1 et de 16 \$ si ε est considéré être de 2, et ainsi de suite pour les autres niveaux de revenus.



CHAPITRE 7

Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteurs coordonnateurs principaux

Donald S. Lemmen, Ph. D.

Catherine Lafleur, Ph. D., Ressources naturelles Canada

Auteurs principaux et collaborateurs

Foresterie

Catherine Lafleur, Ph. D., Ressources naturelles Canada

James MacLellan, Ph. D., Université de Toronto

Pêches

Denis Chabot, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Nancy Shackell, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Helen Gurney-Smith, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Jackie King, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Agriculture

Jamie Hewitt, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Énergie

Marco Braun, Ph. D., Ouranos

Exploitation minière

Bruno Bussière, Ph. D., Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Émilie Bresson, Ph. D., Polytechnique Montréal

Transport

Irene Kulcsar, Transports Canada

Elizabeth Smalley, Transports Canada

Matt Osler, Ville de Surrey



Tourisme

Daniel Scott, Ph. D., Université de Waterloo

Jackie Dawson, Ph. D., Université d'Ottawa

Adaptation des entreprises

Jason Thistlethwaite, Ph. D., Université de Waterloo

Citation recommandée

Lemmen, D., Lafleur, C., Chabot, D., Hewitt, J., Braun, M., Bussière, B., Kulcsar, I., Scott, D. et Thistlethwaite, J. (2021) : Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation; chapitre 7 dans *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham; gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario

Table des matières

Messages clés	552
7.1 Introduction	555
7.2 La gestion durable des forêts est menacée par les feux de forêt et les épidémies de ravageurs	556
7.2.1 Introduction	557
7.2.2 Les impacts des feux de forêt	558
Étude de cas 7.1 : Les feux de forêt de 2016 à Fort McMurray (Horse River)	563
7.2.3 Adaptation	566
7.2.4 Aller de l'avant	567
7.3 L'évolution de la santé des océans affecte la pêche et les moyens de subsistance qui y sont associés	567
7.3.1 Introduction	568
7.3.2 Température de l'eau	568
Étude de cas 7.2 : Les impacts de la vague de chaleur marine de 2013–2015 sur la côte ouest du Canada	569
Étude de cas 7.3 : Réponse du crabe des neiges au réchauffement rapide dans le Canada atlantique	570
7.3.3 Oxygène dissous	571
Étude de cas 7.4 : La vulnérabilité du flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent	571
7.3.4 Acidification	573
Étude de cas 7.5 : Les impacts de l'acidification des océans sur la production de homard au Canada atlantique	573
7.3.5 Aller de l'avant	575
7.4 Les changements climatiques apportent des avantages et présentent des menaces pour le secteur de l'agriculture	575
7.4.1 Introduction	576
7.4.2 Risques climatiques et planification de l'adaptation régionale	577
7.4.3 Interconnectivité	579
7.4.4 Aller de l'avant	580

7.5 Les changements climatiques posent des nouveaux défis environnementaux pour l'exploitation minière	581
7.5.1 Introduction	581
7.5.2 Structures de retenue des résidus miniers	582
7.5.3 Restauration des sites miniers	583
Étude de cas 7.6 : Restauration du site minier de Lorraine, au Québec	584
7.5.4 Adaptation	587
7.5.5 Aller de l'avant	588
7.6 Chaque lien de la chaîne de valeur énergétique peut être vulnérable aux changements climatiques	589
7.6.1 Introduction	589
7.6.2 Risques pour la production et le transport d'énergie	590
7.6.3 Adaptation	592
Étude de cas 7.7 : Possibilités d'augmentation de la production hydroélectrique en Islande	593
7.6.4 Aller de l'avant	595
7.7 Les phénomènes climatiques extrêmes ont un impact sur les transports, perturbant les chaînes d'approvisionnement	596
7.7.1 Introduction	596
7.7.2 Impacts climatiques sur les systèmes de transport	599
7.7.3 Comprendre les interdépendances	600
7.7.4 Adaptation	600
Étude de cas 7.8 : Faire face à l'augmentation des risques d'inondation à Surrey, en Colombie-Britannique	601
7.7.5 Aller de l'avant	604
7.8 Les changements climatiques entraînent des changements transformationnels dans le tourisme	604
7.8.1 Introduction	605
7.8.2 Tourisme des sports d'hiver	606
7.8.3. Tourisme de croisière dans l'Arctique	608
Étude de cas 7.9 : Les coûts de l'accroissement de la circulation des navires de tourisme dans l'Arctique canadien	608



7.8.4	Tourisme de « dernière chance »	609
7.8.5	Aller de l'avant	610
7.9	Une participation accrue du secteur privé accélérera l'adaptation dans tous les secteurs	610
7.9.1	Introduction	611
7.9.2	Adaptation des entreprises au Canada	612
7.9.3	Mesures d'adaptation	612
	Étude de cas 7.10 : Les assurances et l'adaptation aux changements climatiques au Canada	614
7.9.4	Manque de connaissances	614
7.9.5	Aller de l'avant	615
7.10	Aller de l'avant	616
7.10.1	Manque de connaissances et nouveaux enjeux	616
7.11	Conclusion	618
7.12	Références	620

Messages clés

Les changements climatiques affectent presque tous les secteurs économiques au Canada (voir la section 7.1)

Pratiquement tous les secteurs de l'économie canadienne sont touchés, directement ou indirectement, par les changements climatiques. Les évaluations des risques et des opportunités qui tiennent compte des liens existant au sein des secteurs et entre ceux-ci peuvent aider à établir des priorités pour les investissements dans des mesures d'adaptation.

La gestion durable des forêts est menacée par les feux de forêt et les épidémies de ravageurs (voir la section 7.2)

Le secteur forestier est confronté à un large éventail de risques liés aux changements climatiques, allant des épidémies ou des infestations d'organismes nuisibles aux incendies de forêt et aux transformations à long terme de la répartition des espèces. Les impacts des événements extrêmes, tels que les feux de forêt, mettent en évidence la nécessité de mesures qui renforcent la résilience des forêts et des collectivités et contribuent à l'atténuation des changements climatiques.

L'évolution de la santé des océans affecte la pêche et les moyens de subsistance qui y sont associés (voir la section 7.3)

Les changements de la température et de la chimie des océans affectent déjà les populations de poissons. Certains impacts futurs pourront être positifs, mais beaucoup d'entre eux poseront des défis aux moyens de subsistance économiques des pêcheurs et à la responsabilité des régulateurs en matière de maintien de la santé des océans. Une gestion efficace dépend de modèles réalistes de l'abondance et de la répartition futures des espèces commerciales en réaction aux facteurs de stress tant climatiques et que non climatiques.

Les changements climatiques apportent des avantages et présentent des menaces pour le secteur de l'agriculture (voir la section 7.4)

Les changements climatiques apportent à la fois des opportunités et des défis au secteur agricole canadien. L'allongement des saisons de croissance et la possibilité de produire des cultures plus au nord pourraient profiter à l'agriculture, tandis que les changements dans la disponibilité de l'eau, les phénomènes météorologiques extrêmes et les organismes nuisibles et les maladies présenteront des défis. Les mesures d'adaptation qui renforcent la résilience climatique et tiennent compte des liens entre l'agriculture et les secteurs qui y sont liés, tels que la gestion de l'eau et les transports, seront bénéfiques tant pour la durabilité locale que pour la sécurité alimentaire mondiale.

Les changements climatiques posent des nouveaux défis environnementaux pour l'exploitation minière (voir la section 7.5)

Les impacts sur la stabilité chimique et physique des structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites sont parmi les plus grands défis liés aux changements climatiques pour l'industrie minière canadienne. La défaillance de telles structures peut entraîner une grave contamination de l'environnement et présenter des risques pour les collectivités et les écosystèmes environnants. La prise en compte des changements climatiques à long terme dès la phase de conception des projets miniers est nécessaire pour réduire ces risques.

Chaque lien de la chaîne de valeur énergétique peut être vulnérable aux changements climatiques (voir la section 7.6)

Un climat en changement affecte la demande d'énergie ainsi que l'entièreté de la chaîne de valeur énergétique, allant de l'exploration et de la production au transport, jusqu'à la distribution. Il est possible d'intégrer les risques climatiques dans la planification actuelle des opérations en considérant les avantages connexes, les options sans regrets et les approches différentielles. Dans la transition vers des filières énergétiques à faibles émissions de carbone, la résilience climatique est une considération primordiale.

Les phénomènes climatiques extrêmes ont un impact sur les transports, perturbant les chaînes d'approvisionnement (voir la section 7.7)

Les transports routiers, ferroviaires, maritimes et aériens au Canada sont vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux changements climatiques à évolution lente, les perturbations majeures ayant des répercussions économiques et sociales importantes. Pour évaluer pleinement ces répercussions, il faut tenir compte des liens entre les différents systèmes de transport, et entre les modes de transport et un large éventail d'autres secteurs économiques. La coordination des mesures d'adaptation entre les compétences et les secteurs profitera aux propriétaires et aux exploitants de moyens de transport ainsi qu'aux personnes qui dépendent des chaînes et des corridors d'approvisionnement vulnérables.

Les changements climatiques entraînent des changements transformationnels dans le tourisme (voir la section 2.8)

Toutes les destinations touristiques doivent s'adapter aux impacts des changements climatiques sur les actifs touristiques ainsi qu'à la baisse de compétitivité au sein d'une économie touristique fortement interconnectée. Alors que la compétitivité du tourisme canadien devrait augmenter en raison des changements climatiques, les implications précises de ce changement sur le marché et dans les régions pour la compétitivité nationale restent insuffisamment étudiées. Le tourisme et les loisirs d'hiver et du Nord sont particulièrement sensibles à la variabilité du climat, et des changements transformationnels sont attendus dans le tourisme de ski, de motoneige et de croisière en Arctique.

Une participation accrue du secteur privé accélérera l'adaptation dans tous les secteurs (voir la section 2.9)

Malgré une prise de conscience croissante des impacts des changements climatiques, il n'y a pas de signes généralisés d'adaptation par les entreprises au Canada. Lorsque l'adaptation a lieu, elle tend à se concentrer sur des actions à court terme pour faire face aux risques physiques, tels que les perturbations dans la construction et les interruptions dans les chaînes d'approvisionnement. Une participation accrue du secteur privé accélérerait l'adaptation au Canada dans son ensemble.

7.1 Introduction

Pratiquement tous les secteurs de l'économie canadienne sont touchés, directement ou indirectement, par les changements climatiques. Les évaluations des risques et des opportunités qui tiennent compte des liens existant au sein des secteurs et entre ceux-ci peuvent aider à établir des priorités pour les investissements dans des mesures d'adaptation.

Il est de plus en plus évident que les changements climatiques ont des impacts sur l'économie canadienne dans son ensemble et que ces impacts s'intensifieront à l'avenir (Conseil des académies canadiennes, 2019). L'adaptation sera nécessaire à travers tous les secteurs pour limiter les risques climatiques et, dans certains cas, pour tirer profit des nouvelles opportunités. Une adaptation proactive permet l'innovation, la croissance, et peut renforcer la compétitivité économique (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). Peu d'études ont entrepris des analyses économiques quantitatives des impacts des scénarios climatiques déterminés sur les entreprises et les industries canadiennes (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) »; Eyzaguirre, 2016), mais des recherches menées ailleurs démontrent que les coûts s'accroissent avec le réchauffement continu (GIEC, 2014). En outre, à des taux de changement climatique plus élevés, les options d'adaptation deviennent toujours plus limitées, présentant des risques critiques allant de la viabilité économique locale à la sécurité alimentaire mondiale (GIEC, 2019, 2018, 2014).

Dans une optique canadienne, la plupart des recherches sectorielles sur les impacts et l'adaptation se sont concentrées sur les secteurs de l'alimentation et des ressources naturelles où les changements climatiques affectent directement la production primaire, tels que l'agriculture, la pêche, la foresterie et la production d'hydroélectricité (Warren et Lemmen, 2014). L'importance économique de ces secteurs est amplifiée à la fois à l'échelle locale, de nombreuses collectivités canadiennes tirant de ces secteurs 80 % ou plus de leurs revenus d'emploi (voir le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »), et à l'échelle internationale, où le Canada figure parmi les leaders mondiaux en matière d'agriculture, de foresterie et d'exportation de minéraux.

Les autres secteurs de l'économie canadienne ont fait l'objet d'une attention moindre, à l'exception de la santé humaine (Berry et coll., 2014). Cependant, il est de plus en plus reconnu que les impacts sanitaires et sociaux liés aux changements climatiques sur les collectivités et les travailleurs, ainsi que les impacts climatiques sur les chaînes d'approvisionnement et autres infrastructures, représentent des risques matériels et financiers importants pour l'ensemble de l'économie (Conseil des académies canadiennes, 2019). Un nombre croissant de documents sur ces autres secteurs est donc en train de voir le jour (voir le chapitre « [Divulgarion, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »).

Les précédentes évaluations sectorielles menées au Canada, telles que Warren et Lemmen (2014), notamment les chapitres 4, 5 et 6, mettent en évidence :

- Des vulnérabilités à la fois aux événements météorologiques extrêmes et aux changements climatiques à évolution lente;
- L'amplification des impacts dans les collectivités nordiques et éloignées;
- Les opportunités que présentent les changements climatiques, pour de nombreux secteurs, en plus de la nature changeante des risques climatiques;

- Une mise en œuvre accrue des mesures d'adaptation aux changements climatiques et un engagement élargi de l'industrie, des gouvernements et de la société civile, renforçant ainsi la résilience sociale et économique;
- Des processus qui peuvent aider à faire progresser les mesures d'adaptation, dont la divulgation des risques, l'évaluation environnementale et des rapports sur la gestion durable;
- Les interdépendances entre les secteurs, avec une importance particulière accordée aux systèmes de transport;
- Un manque de renseignements liés aux impacts indirects des changements climatiques, y compris ceux liés à la demande des consommateurs, aux chaînes d'approvisionnement, aux actifs immobiliers ou autres, à la responsabilité légale et à la réglementation gouvernementale.

Ce chapitre s'appuie sur les constats de Warren et Lemmen (2014) et d'autres évaluations canadiennes pertinentes (p. ex. Palko et Lemmen, 2017) en examinant les principaux impacts des changements climatiques et l'adaptation à ces changements dans sept secteurs de l'économie canadienne, soit la foresterie, l'agriculture, la pêche, l'énergie, l'exploitation minière, les transports et le tourisme, ainsi que des perspectives globales sur l'adaptation des entreprises. Les enjeux liés à la santé humaine ne sont pas abordés dans ce chapitre, car ils font l'objet d'un rapport d'évaluation distinct (voir le rapport *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement*). Les auteurs se sont concentrés sur un nombre limité d'enjeux prioritaires définis par l'évaluation de l'étendue des connaissances disponibles. Par conséquent, les sections suivantes du présent chapitre ne fournissent pas une évaluation exhaustive des impacts des changements climatiques et des réactions d'adaptation au sein de chaque secteur, mais se concentrent plutôt sur les sujets pour lesquels les connaissances ont récemment progressé et pour lesquels les connaissances évaluées sont directement liées au processus décisionnel en cours.

7.2 La gestion durable des forêts est menacée par les feux de forêt et les épidémies de ravageurs

Le secteur forestier est confronté à un large éventail de risques liés aux changements climatiques, allant des épidémies ou des infestations d'organismes nuisibles aux incendies de forêt et aux transformations à long terme de la répartition des espèces. Les impacts des événements extrêmes, tels que les feux de forêt, mettent en évidence la nécessité de mesures qui renforcent la résilience des forêts et des collectivités et contribuent à l'atténuation des changements climatiques.

La variabilité du climat et les événements météorologiques extrêmes associés aux changements climatiques posent un défi à la gestion des forêts en limitant l'accès aux ressources forestières et en augmentant les coûts opérationnels. Des feux de forêt plus fréquents et des infestations de ravageurs forestiers limitent l'approvisionnement local en bois d'œuvre et ont un impact sur le bien-être social et économique des collectivités forestières. De plus, le secteur forestier est confronté à des impacts climatiques à plus long terme, tels que des changements dans la composition taxinomique des arbres, la structure des peuplements, la productivité et la santé. Pour relever ces défis et autres, tels que l'évolution des valeurs sociales et de la demande du marché, les entreprises forestières répondent à de multiples besoins environnementaux, économiques et sociaux en même temps. Les approches de gestion adaptative et fondée sur les risques qui appliquent la recherche, la surveillance et l'évaluation contribueront à éclairer les futurs politiques de gestion afin de promouvoir des forêts saines et résilientes et d'améliorer le stockage du carbone. afin de promouvoir des forêts saines et résilientes et d'améliorer le stockage du carbone.

7.2.1 Introduction

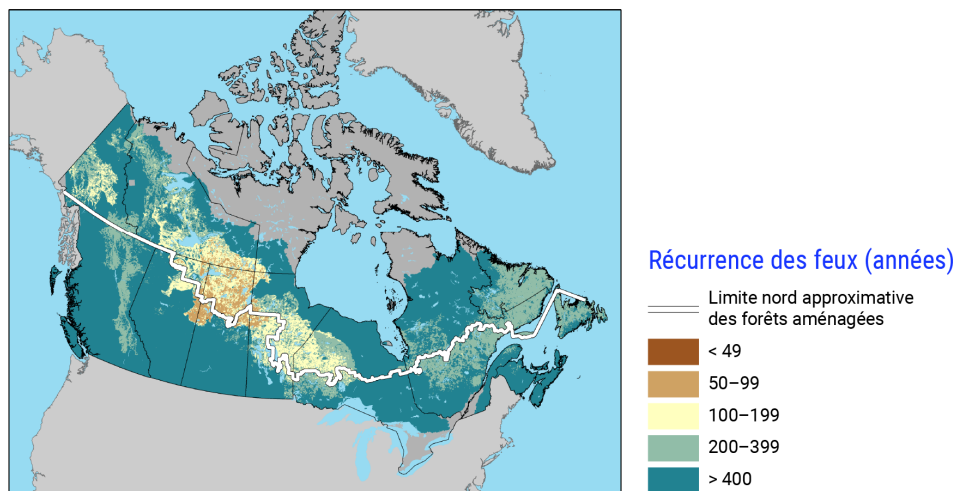
Le secteur forestier canadien est sensible aux impacts du climat sur les biens et services que procurent les écosystèmes. À court terme, les augmentations de température prévues dépasseront probablement les effets modérateurs potentiels de l'augmentation des précipitations sur les conditions météorologiques propices aux feux de forêt (Zhang et coll., 2019), ce qui entraînera un risque accru de feux de forêt et de sécheresse (Boucher et coll., 2018; Boulanger et coll., 2017; Flannigan et coll., 2009). Les changements climatiques sont également un facteur essentiel des perturbations progressives, telles que les infestations de ravageurs, qui influent sur la probabilité de phénomènes de perturbation immédiats, tout en affectant également la structure et la composition à long terme des forêts (Sulla-Menashe et coll., 2018; van Lierop et coll., 2015; Price et coll., 2013; Sturrock et coll., 2011; Burton, 2010). Les effets cumulatifs de ces changements diminuent la santé et la résilience des forêts canadiennes, limitant l'approvisionnement en bois d'œuvre et augmentant les risques pour le secteur forestier (Boucher et coll., 2018; Taylor et coll., 2017; McKenney et coll., 2016; Gauthier et coll., 2014; Price et coll., 2013; Coulombe et coll., 2010; Williamson et coll., 2009). Une meilleure compréhension de ces changements anticipés aidera le secteur forestier à mieux se préparer à la fois aux risques et aux opportunités.

Par le passé, les interventions de la direction dans les impacts des changements climatiques sur le secteur forestier avaient tendance à être réactives, comme l'illustrent les mesures prises face à l'épidémie du dendroctone du pin ponderosa dans l'Ouest canadien (Jones et Preston, 2011; Bentz et coll., 2010; Williamson et coll., 2009). Récemment, les gestionnaires forestiers, les spécialistes des politiques et les chercheurs ont mis au point un ensemble de ressources, d'outils et de protocoles en matière de connaissances afin d'aider les praticiens et les intervenants à adopter une approche proactive pour gérer les impacts des changements climatiques et les facteurs de stress environnementaux et socio-économiques connexes. Les phases de la gestion adaptative sont examinées dans une série d'évaluations antérieures (Gauthier et coll., 2014; Lemmen et coll., 2014; Price et coll., 2013; TRNEE, 2011; Williamson et coll., 2009), en reconnaissant qu'il n'existe pas de « feuille de route » unique pour guider la mise en œuvre des réactions d'adaptation (Samy et coll., 2015). Cette section s'appuie sur les évaluations passées en se concentrant sur les feux de forêt dans le contexte des événements récents.

7.2.2 Les impacts des feux de forêt

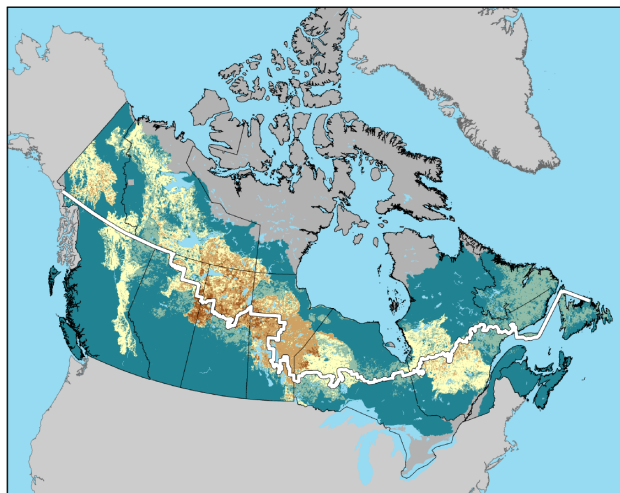
Si les feux de forêt sont un élément naturel et essentiel de l'écologie forestière, la prise de conscience de l'impact dramatique que les feux de forêt ont sur les Canadiens et les Canadiennes est de plus en plus importante. À mesure que les changements climatiques se produisent, les régimes des feux de forêt changent, souvent avec une fréquence, une gravité et une ampleur croissantes (Mori et Johnson, 2013; Flannigan et coll., 2009). Les facteurs non climatiques, tels que l'état des forêts, les pratiques de gestion forestière, la couverture terrestre (Marchal et coll., 2017) et les perturbations cumulatives sont également des considérations importantes pour expliquer ces augmentations. La saison des feux se prolonge, commençant plus tôt au printemps et se terminant plus tard à l'automne (Zhang et coll., 2019; Hanes et coll., 2018; Jolly et coll., 2015; Flannigan et coll., 2013), avec des feux plus fréquents (exprimés par une récurrence des feux plus courte) prévus tout au long de ce siècle (voir la figure 7.1).

Période de référence (1981–2010)

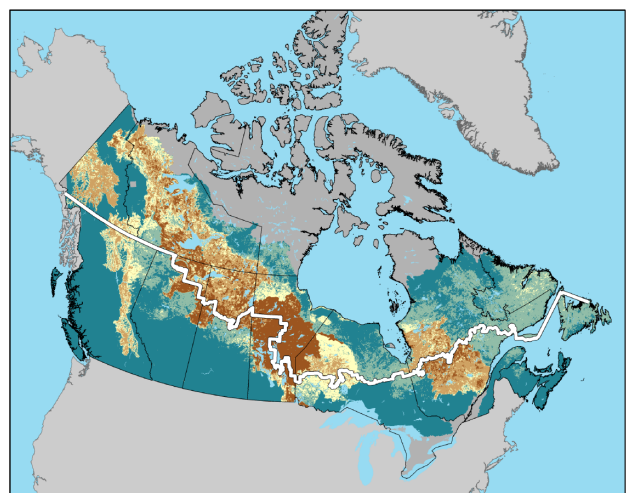


a)

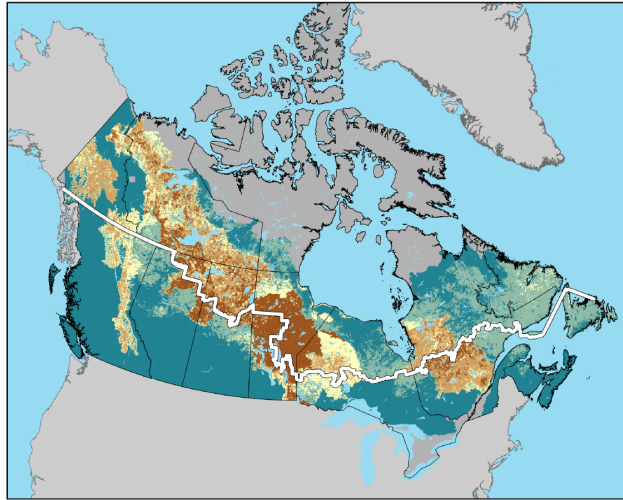
RCP2.6 (2011–2040)



RCP2.6 (2071–2100)

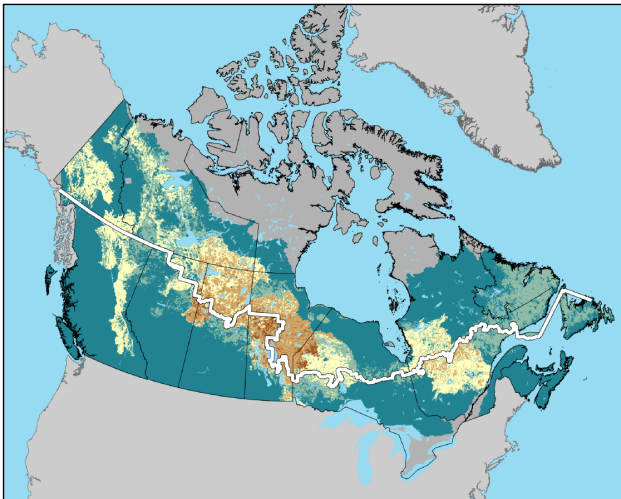


RCP2.6 (2071–2100)

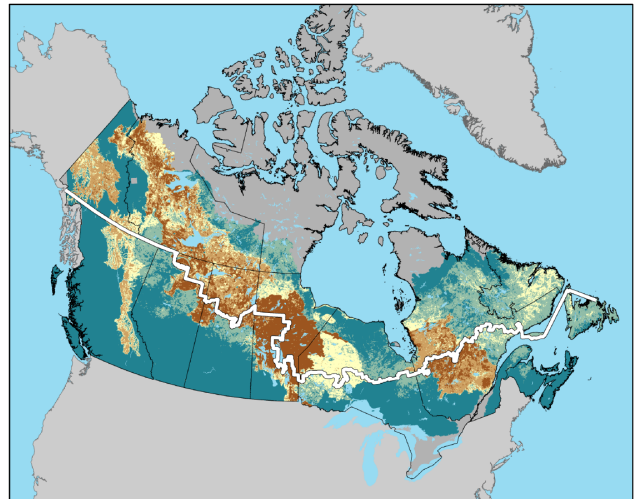


b)

RCP8.5 (2011–2040)



RCP8.5 (2041–2070)



RCP8.5 (2071–2100)

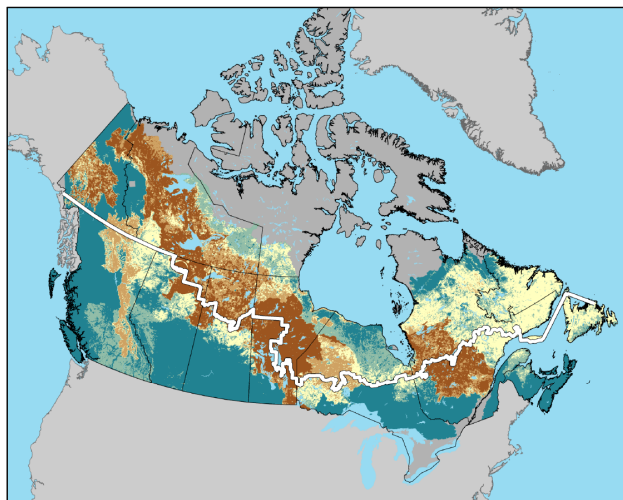


Figure 7.1 : Cartes interactives de la probabilité des feux de forêt de référence et projetés au Canada, présentées en termes de récurrence des feux (années), pour deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) : a) un scénario d'émissions basses (RCP2.6) et b) un scénario d'émissions hautes (RCP8.5). Des récurrences de feux plus courtes (en rouge et orange) représentent une plus grande probabilité d'incendie, et des cycles plus longs (en vert clair et vert foncé) représentent une faible probabilité d'incendie. Les cartes montrent la probabilité d'un incendie local (les pixels représentent une résolution de 250 m²) en utilisant les zones homogènes de régime des feux de Boulanger et coll. (2014) et affichent la sélectivité des feux en fonction de la composition de la végétation et de l'âge du peuplement au niveau du pixel. Source : Boulanger et coll., 2014.

Les impacts écologiques à la suite des feux de forêt comprennent des changements dans la structure des peuplements forestiers, tels que la répartition des classes d'âge et la composition taxinomique (Price et coll., 2013; Brown et Johnstone, 2012; Lynch, 2004). Des récurrences plus courtes, combinées à une augmentation de la gravité des incendies, augmentent le risque de défaillance de la régénération (voir la figure 7.2; Whitman et coll., 2019) et de transition des zones forestières vers des terrains non boisés (Boiffin et Munson, 2013; Price et coll., 2013; Brown et Johnstone, 2012). La perte de couvert arboré dans le paysage peut entraîner des inondations et des mouvements de terrain dans certaines régions (Bladon, 2018; Creed et coll., 2016). Les changements apportés aux régimes de feux menacent non seulement l'approvisionnement en bois d'œuvre (qualité, quantité et diversité des espèces d'arbres), mais aussi la fourniture de services écosystémiques, tels que la biodiversité, les habitats des espèces en péril, le stockage du carbone, la qualité et la quantité de l'eau (voir le chapitre « [Services écosystémiques](#) »; Gauthier et coll., 2014; Price et coll., 2013). Bien qu'il soit difficile de prévoir comment ces changements se manifesteront localement, l'analyse des infestations passées par le dendroctone du pin ponderosa suggère que la création de forêts plus résilientes entraîne de multiples bienfaits (Dymond et coll., 2015).



Figure 7.2 : Photo d'un paysage post-incendie qui risque de ne pas se régénérer : un site dans les Territoires du Nord-Ouest, un an après un feu de forêt en 2014. Ce site avait précédemment brûlé en 2004 et le court intervalle (10 ans) entre les feux a conduit à une absence totale de régénération des arbres. Le manque de régénération est attribué à l'absence de semis et de matière organique dans le sol avant le feu. Photo avec la permission de Ressources naturelles Canada.

Il y a une prise de conscience croissante des impacts sociaux qu'ont les feux de forêt (McGee et coll., 2015; Gill et coll., 2013), notamment les nombres de personnes évacuées (voir la figure 7.3). Les évacuations entraînent des problèmes de santé physique et mentale, perturbent la vie des personnes évacuées et créent un stress économique pour les individus et les collectivités (McCaffrey et coll., 2015; Beverly et Bothwell, 2011; Marshall et coll., 2007; Morton et coll., 2003). Avec la multiplication des feux de forêt, les problèmes sanitaires dus à la fumée augmentent bien au-delà du voisinage immédiat de l'incendie (Liu et coll., 2016; Reid et coll., 2016; Finlay et coll., 2012) et les problèmes de visibilité ont des répercussions sur les transports (Goodrick et coll., 2013). À ce jour, ces impacts ont touché de manière disproportionnée les petites collectivités et les collectivités autochtones : un tiers de toutes les personnes évacuées à la suite d'un feu de forêt sont autochtones et plus de la moitié des évacuations liées à la fumée touchent des collectivités autochtones (voir le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »; Sankey, 2018; Scharbach et Waldram, 2016; Christianson, 2015).

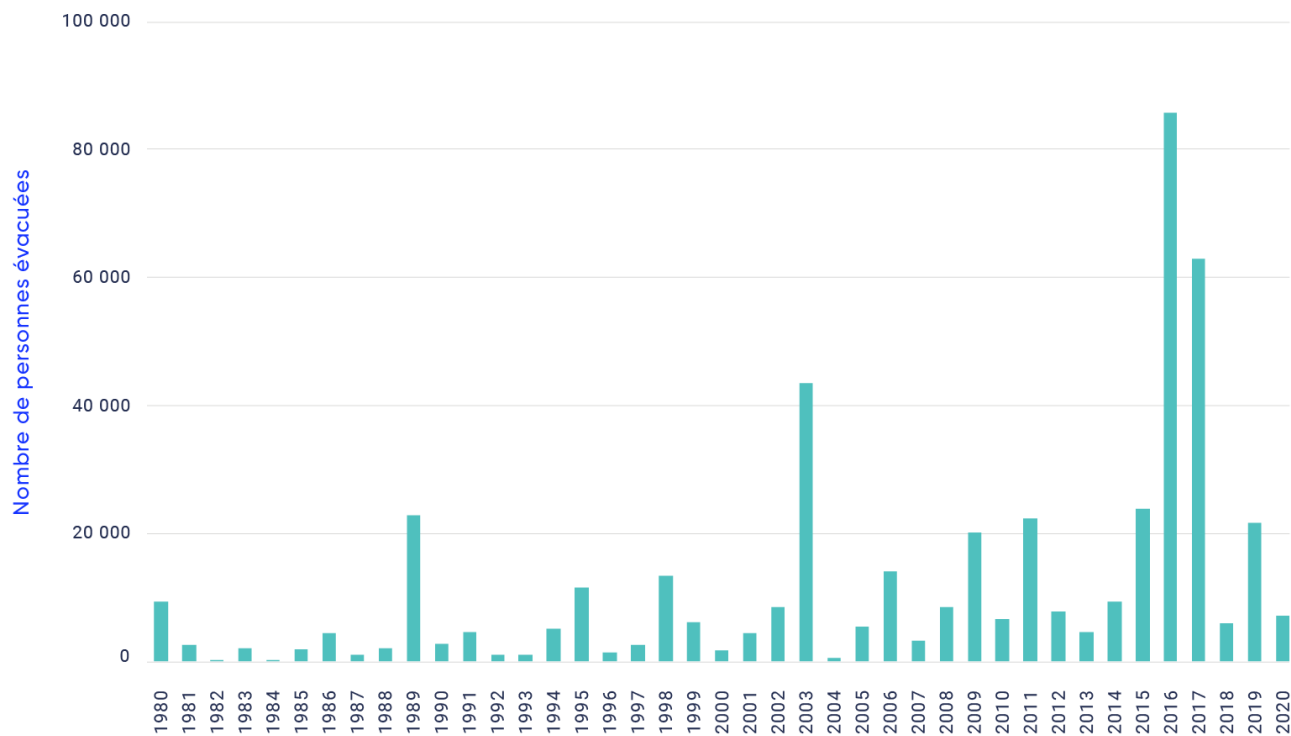


Figure 7.3 : Nombre de personnes évacuées à la suite de feux de forêt au Canada (1980–2020). De nombreux facteurs, dont la fréquence des feux, leur ampleur et leur emplacement par rapport à la densité de population, influent sur le nombre de personnes évacuées. La Colombie-Britannique, l'Alberta et l'Ontario ont connu le plus grand nombre d'évacuations entre 1980 et 2020. Source des données : Gouvernement du Canada, 2020.

Les impacts économiques associés aux feux de forêt sont d'une portée considérable. Les coûts directs, qui comprennent les activités de gestion et de suppression des incendies (Rijal et coll., 2018; Wotton et coll., 2010), sont passés d'une moyenne de 290 millions de dollars par an au début des années 1970 à environ 1 milliard de dollars par an au cours des dernières années (Ressources naturelles Canada, 2019, 2017). Il est prévu que ces coûts augmentent encore de plus de 100 % d'ici la fin du siècle dans le cadre d'un scénario de fortes émissions (Hope et coll., 2016). Le maintien des niveaux actuels de suppression des incendies semble ne pas être viable (Wotton et coll., 2017; Hope et coll., 2016). Les impacts des changements climatiques et la perte de l'approvisionnement en bois d'œuvre ont des répercussions économiques en cascade sur le secteur forestier qui sont difficiles à quantifier (Ochuodho et Lantz, 2014). D'autres secteurs sont également confrontés à des coûts directs liés aux feux de forêt, notamment les dépenses consacrées à l'évacuation, les dommages causés aux infrastructures, la fermeture d'entreprises et d'industries, les coûts d'assurance et la perte de services écosystémiques forestiers (McGee et coll., 2015; Gauthier et coll., 2015; Peter et coll., 2006). L'importance accrue accordée aux forêts dans une économie à faibles émissions de carbone souligne l'importance de quantifier les coûts associés à l'émission des gaz à effet de serre. Il existe également des coûts de santé associés à la fumée et au stress d'évacuation (Reid et coll., 2016; McCaffrey et coll., 2015; Beverly et Bothwell, 2011; Morton et coll., 2003).

Les pertes catastrophiques assurables dues à des événements extrêmes tels que les feux de forêt sont en hausse. L'incendie de Fort McMurray en 2016 a été le plus grand événement d'assurance au Canada, évalué à près de 4 milliards de dollars (voir l'étude de cas 7.1; Bureau d'assurance du Canada, 2019, 2016; Swiss Re Institute, 2018; Statistique Canada, 2017). Cette évaluation sous-estime largement les coûts globaux, étant donné que les coûts de réparation et de reconstruction non assurés pour les gouvernements et les propriétaires peuvent être trois à quatre fois supérieurs à ceux des compagnies d'assurance privées (Dixon et coll., 2018). Le lien entre les changements climatiques et les événements extrêmes est clair (p. ex., GIEC, 2012), une récente analyse d'attribution au Canada indiquant que les changements climatiques ont augmenté la probabilité des conditions de sécheresse extrême, le risque de feux de forêt extrêmes et la durée des saisons de feux (Kirchmeier-Young et coll., 2017; Tett et coll., 2017). Tous ces facteurs sont applicables à l'incendie de Fort McMurray (Zhang et coll., 2019).

Étude de cas 7.1 : Les feux de forêt de 2016 à Fort McMurray (Horse River)

Le feu de forêt de Horse River a débuté le 1^{er} mai 2016, à sept kilomètres en dehors de Fort McMurray, Alberta. Deux jours plus tard, l'incendie est entré dans Fort McMurray, détruisant environ 2 400 maisons et déplaçant 2 000 habitants supplémentaires dans trois collectivités de la région de Wood Buffalo (voir la figure 7.4; MNP, 2017). Avant qu'il ne soit maîtrisé, le feu s'est propagé à travers le Nord de l'Alberta jusqu'en Saskatchewan, menaçant des collectivités des Premières Nations, ayant un impact sur l'exploitation des sables bitumineux de l'Athabasca par la perte de production d'environ 47 millions de barils de pétrole, soit un manque à gagner de 1,4 milliard de dollars (Antunes et coll., 2016), et dévastant de vastes forêts et détruisant des infrastructures essentielles (MNP, 2017). Le Bureau d'assurance du Canada a estimé les pertes assurées à 3,9 milliards de dollars, ce qui en fait la catastrophe la plus coûteuse de l'histoire du Canada et aussi l'un des pires incendies au niveau international (Bureau d'assurance du Canada, 2019, 2016; Swiss Re Institute, 2018).

a)



b)

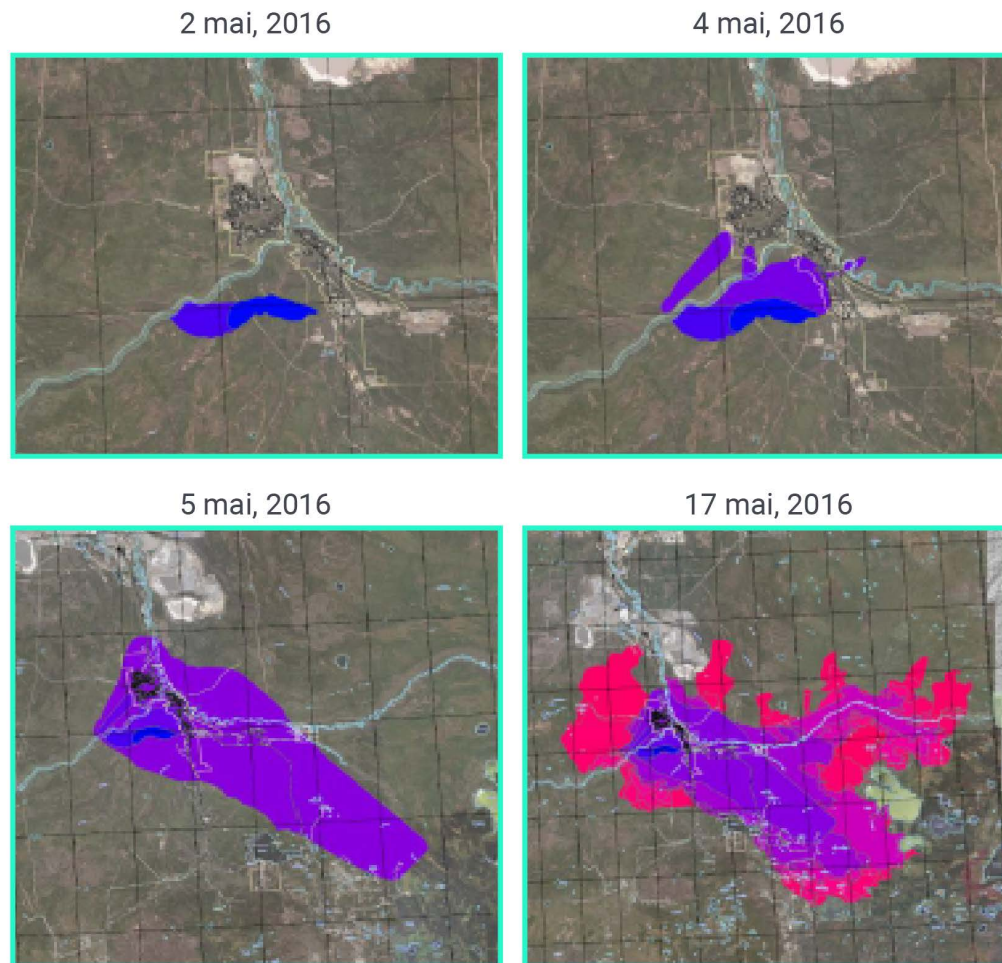


Figure 7.4 : a) Approche de l'incendie de Horse River à Fort McMurray, Alberta en 2016; b) Cartes indiquant la croissance de l'incendie de Horse River entre le 2 mai, 2016 et le 17 mai, 2016. Source : Adapté de MNP, 2017.

L'estimation du coût total des incendies présente des défis en raison du nombre de coûts directs et indirects, allant des dommages économiques subis par les habitations et les infrastructures aux coûts des soins de santé associés à la pollution atmosphérique causée par le feu et aux rejets toxiques dans les bassins versants (voir le tableau 7.1). L'expérience de Horse River illustre comment les impacts des feux de forêt peuvent rapidement s'étendre au-delà du secteur forestier pour inclure de nombreux autres secteurs et disciplines et souligne l'importance de la collaboration entre les partenaires institutionnels pour faire face à l'ensemble des impacts des changements climatiques.

Tableau 7.1 : Exemples de coûts directs et indirects liés au feu de forêt de Fort McMurray (Horse River)

COÛTS DIRECTS (EXEMPLES)

La suppression et l'extinction des feux de forêt dans de multiples territoires

Les activités d'évacuation, dont la coordination et le soutien des personnes évacuées

Le maintien de l'ordre public pendant l'évacuation

Les dommages aux biens personnels

Les dommages causés aux infrastructures des entreprises

Les dommages causés aux infrastructures publiques (conduites de gaz et lignes électriques et téléphoniques)

Les pertes commerciales en bois d'œuvre

COÛTS INDIRECTS (EXEMPLES)

Des pertes dans la production d'hydrocarbures

La perte de la production industrielle non liée aux hydrocarbures, y compris le commerce de détail et d'autres secteurs commerciaux

Le chômage (perte de rémunération et de salaire)

Des transformations démographiques (déclin de la population et perte de la main-d'œuvre productive)

Les coûts des services sociaux, y compris les soins de santé à long terme et les enjeux liés aux familles

Les émissions de gaz à effet de serre, le rejet de polluants et autres impacts sur les services écosystémiques

Les augmentations des taux d'assurance

Source : Selon Subedi et coll., 2016.

7.2.3 Adaptation

Étant donné que les risques associés aux feux de forêt et aux autres impacts climatiques ont des effets au-delà du secteur forestier, la mise en œuvre des mesures d'adaptation nécessite la participation d'intervenants en provenance de multiples secteurs (Furness et Nelson, 2016; Nelson et coll., 2016). Certaines options d'adaptation mentionnées ci-dessous sont spécifiques aux incendies de forêt, tandis que d'autres contribuent à accroître la résilience globale des forêts et des collectivités forestières (voir Edwards et coll., 2015 et Gauthier et coll., 2014 pour les recueils de mesures d'adaptation).

Diverses options d'adaptation sont disponibles pour réduire le risque et les impacts des perturbations forestières du type feux de forêt (Leduc et coll., 2015; McGee et coll., 2015; Blackwell et coll., 2008). Par exemple, le risque d'incendie peut être réduit par une gestion active des combustibles, impliquant des coupes d'éclaircie, l'enlèvement des débris et le brûlage dirigé (Astrup et coll., 2018; Schroeder, 2010; Ohlson et coll., 2006; Spittlehouse, 2005), et l'ajustement des calendriers de récolte pour favoriser les peuplements plus âgés et endommagés par les insectes (Dymond et coll., 2015; Raulier et coll., 2014). La planification de la régénération pourrait inclure une plus grande proportion d'espèces plus tolérantes au feu et d'arbres à feuilles caduques (Bernier et coll., 2016).

Au niveau local, les activités FireSmart (Hirsch et coll., 2001), telles que la création de pare-feu autour des collectivités, la construction avec des matériaux résistant au feu et le nettoyage des débris autour des propriétés pour réduire la charge en combustible, contribuent à accroître la résilience aux feux de forêt (FireSmart Canada, 2019a, 2019b, 2018; Spittlehouse, 2005). Les collectivités améliorent activement leur préparation aux situations d'urgence en créant des plans d'évacuation et d'accueil des personnes évacuées tenant compte des différences culturelles (Scharbach et Waldram, 2016; Nation crie de Beardy's et Okemasis', s.d.).

Bien qu'un certain nombre de réactions d'adaptation aient été élaborées pour réduire les coûts résultant des effets des feux de forêt sur l'approvisionnement en bois d'œuvre (Rijal et coll., 2018; Leduc et coll., 2015; Raulier et coll., 2014; Raulier et coll., 2013), la prise en compte des impacts économiques plus larges des feux de forêt s'étend bien au-delà du secteur forestier (Orwig, 2016). Par exemple, le secteur des assurances examine l'impact des feux de forêt sur l'exploitation minière, la foresterie, l'énergie, l'agriculture, les transports et les services publics et collabore avec des organisations telles que FireSmart (Hirsch et coll., 2001) pour encourager les actions visant à réduire les risques d'incendie autour des collectivités et des infrastructures.

L'état de la mise en œuvre fournit un point de référence pour mesurer les progrès d'adaptation dans le secteur forestier. Le groupe de travail sur les changements climatiques du Conseil canadien des ministres des forêts a produit une série de neuf rapports interdépendants (Conseil canadien des ministres des forêts, s.d.), y compris un guide pratique (Edwards et coll., 2015), pour soutenir l'intégration des changements climatiques dans la planification de la gestion forestière. Les adopteurs précoces utilisent ce guide pour évaluer les vulnérabilités et classer les options d'adaptation en fonction de la capacité actuelle et future de mise en œuvre (Andrews-Key, 2018; Gatin et Johnston, 2017). Des documents d'orientation ont également été produits pour aider les propriétaires de boisés privés à s'adapter aux changements climatiques (Ontario Woodlot Association, 2015). Les initiatives nationales et régionales sur les changements climatiques (p. ex. Gatin et Johnston, 2017) comprennent des stratégies et des plans d'action sur les changements climatiques, ainsi que des politiques et des règlements actualisés. La recherche de soutien a mis l'accent sur les

approches d'évaluation intégrées, en s'appuyant sur l'expertise dans diverses disciplines en vue de compléter la recherche écologique par des analyses socio-économiques.

7.2.4 Aller de l'avant

Les changements climatiques affectent déjà le secteur forestier, en particulier par des événements extrêmes tels que les feux de forêt. Ces effets devraient se poursuivre et s'intensifier, ce qui nécessitera des efforts accrus pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Bien qu'il n'existe pas de feuille de route unique pour guider la mise en œuvre de l'adaptation, les évaluations de risques régionales au Canada ont souligné la nécessité d'intégrer les pressions écologiques, sociales et économiques au-delà du secteur forestier. L'intégration et la capture de synergies entre les secteurs peuvent être grandement facilitées par l'adoption de sources de données et de scénarios communs (Environnement et Changement climatique Canada, 2018) ainsi que de méthodes et de cadres fondés sur les risques (voir la section 7.9; Johnston et coll., 2020; ISO, 2018; Daniel et coll., 2017; Calkin et coll., 2014; Jones et Preston, 2011). La mise en œuvre d'actions qui renforcent la résilience climatique des forêts est importante pour soutenir les services écologiques, sociaux et économiques procurés par les forêts.

7.3 L'évolution de la santé des océans affecte la pêche et les moyens de subsistance qui y sont associés

Les changements de la température et de la chimie des océans affectent déjà les populations de poissons. Certains impacts futurs pourront être positifs, mais beaucoup d'entre eux poseront des défis aux moyens de subsistance économiques des pêcheurs et à la responsabilité des régulateurs en matière de maintien de la santé des océans. Une gestion efficace dépend de modèles réalistes de l'abondance et de la répartition futures des espèces commerciales en réaction aux facteurs de stress tant climatiques et que non climatiques.

Les changements climatiques entraînent une hausse des températures et de l'acidité de l'eau, ce qui diminue la teneur en oxygène et augmente la salinité des océans du monde. Parmi ces variables environnementales, les changements de température, l'oxygène dissous et l'acidification seront responsables de la plupart des impacts directs sur la pêche et l'aquaculture (élevage de poissons ou de mollusques et crustacés) au Canada au cours des prochaines décennies. Ces variables entraînent et continueront d'entraîner des changements dans la répartition, la productivité, la reproduction et la période des événements saisonniers (p. ex. la mue, la migration, le frai et l'éclosion) pour de nombreuses espèces aquatiques. Les événements extrêmes, en particulier les réchauffements abrupts qui durent plusieurs mois, sont également des considérations importantes dans la

gestion aquatique. La planification des mesures d'adaptation doit tenir compte des interactions complexes entre les différents facteurs de stress climatiques, ainsi que les facteurs de stress non climatiques tels que les pressions exercées sur la pêche.

7.3.1 Introduction

Le rôle essentiel et la sensibilité climatique des pêches et de l'aquaculture dans la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale et dans la résilience des collectivités côtières à l'échelle locale sont bien établis (Bindoff et coll., 2019; Lemmen et coll., 2016; Porter et coll., 2014). Un aperçu des impacts des changements climatiques sur la production alimentaire au Canada et des mesures d'adaptation connexes a été présenté par Campbell et coll. (2014). Pour le secteur de la pêche, les chercheurs ont conclu que les impacts régionaux des changements au niveau de l'habitat physique, des espèces envahissantes et des réponses sociétales détermineront les futurs modèles d'utilisation ainsi que les implications économiques globales. L'aquaculture a été reconnue comme ayant la plus grande portée pour des mesures d'adaptation, ce qui la rend moins vulnérable et mieux placée pour profiter des opportunités par rapport à la pêche de capture, tandis que les pêches de subsistance traditionnelles étaient considérées comme particulièrement vulnérables.

Cette section s'appuie sur les conclusions de Campbell et coll. (2014) en se concentrant sur les défis à court terme pour la gestion durable des écosystèmes marins qui découlent des transformations physiques des habitats (p. ex. le réchauffement, l'acidification et la diminution ou l'épuisement de l'oxygène dissous) et met en évidence la manière dont les changements climatiques sont intégrés dans les avis scientifiques qui éclairent les décisions de gestion des pêches et de l'aquaculture. Les impacts physiques des changements climatiques sont décrits plus en détail dans [le chapitre 7 du Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Greenan et coll., 2019a). Les impacts sur la pêche récréative et commerciale et l'aquaculture en eau douce ne sont pas abordés ici, mais il est clair que l'augmentation de la température de l'eau et la diminution du pH et des concentrations en oxygène ont déjà un impact sur de nombreux écosystèmes d'eau douce. En outre, il est à noter que les espèces anadromes seront soumises à des impacts négatifs pendant leur présence en eau douce, et donc que même les pêcheries marines seront affectées par les changements des écosystèmes d'eau douce.

7.3.2 Température de l'eau

À quelques exceptions près, la température interne des poissons et des crustacés correspond étroitement à celle de l'eau dans laquelle ils vivent. En conséquence, la température exerce une forte influence sur leur physiologie (p. ex. le métabolisme et la croissance) et les animaux aquatiques sont adaptés à une plage de températures spécifique à chaque espèce. Lorsque des espèces mobiles rencontrent des températures approchant leur limite supérieure de tolérance, elles ont tendance à se déplacer vers des températures plus fraîches et plus idéales. Au large de la côte ouest de la Colombie-Britannique, un événement de réchauffement persistant de 2013 à 2015 a eu plusieurs impacts écosystémiques (voir l'étude de cas 7.2).

Étude de cas 7.2 : Les impacts de la vague de chaleur marine de 2013–2015 sur la côte ouest du Canada

Un événement de réchauffement bien documenté qui a commencé au large de la côte ouest de la Colombie-Britannique en 2013 était évident dans les eaux côtières à l'été 2015 (voir la figure 7.5), avec une augmentation des températures de l'eau de 3 °C au-dessus de la normale (Ross, 2016). Ce réchauffement des eaux côtières s'est accompagné d'une prolifération d'algues nuisibles, de niveaux records de zooplanctons gélatineux de grande taille et d'une invasion d'espèces d'eau chaude (Chandler et coll., 2016). L'événement peut avoir eu des conséquences en cascade sur l'écosystème, comme la prolifération exceptionnelle d'un tunicier aquatique colonial (un animal sans colonne vertébrale que l'on trouve rarement au nord de la Californie) observée sur toute la côte ouest de l'Amérique du Nord en 2017 (Brodeur et coll., 2018). Bien que les causes spécifiques demeurent inconnues, la vague de chaleur marine de 2013–2015, associée à des conditions favorables à la croissance et à la reproduction, pourrait avoir entraîné cette efflorescence sans précédent. Cette prolifération a eu des effets négatifs considérables sur les activités de pêche commerciale et récréative en raison de l'encrassement des engins de pêche (Brodeur et coll., 2018), ce qui illustre le fait que des événements anormaux peuvent avoir des répercussions imprévues sur les pêches côtières.

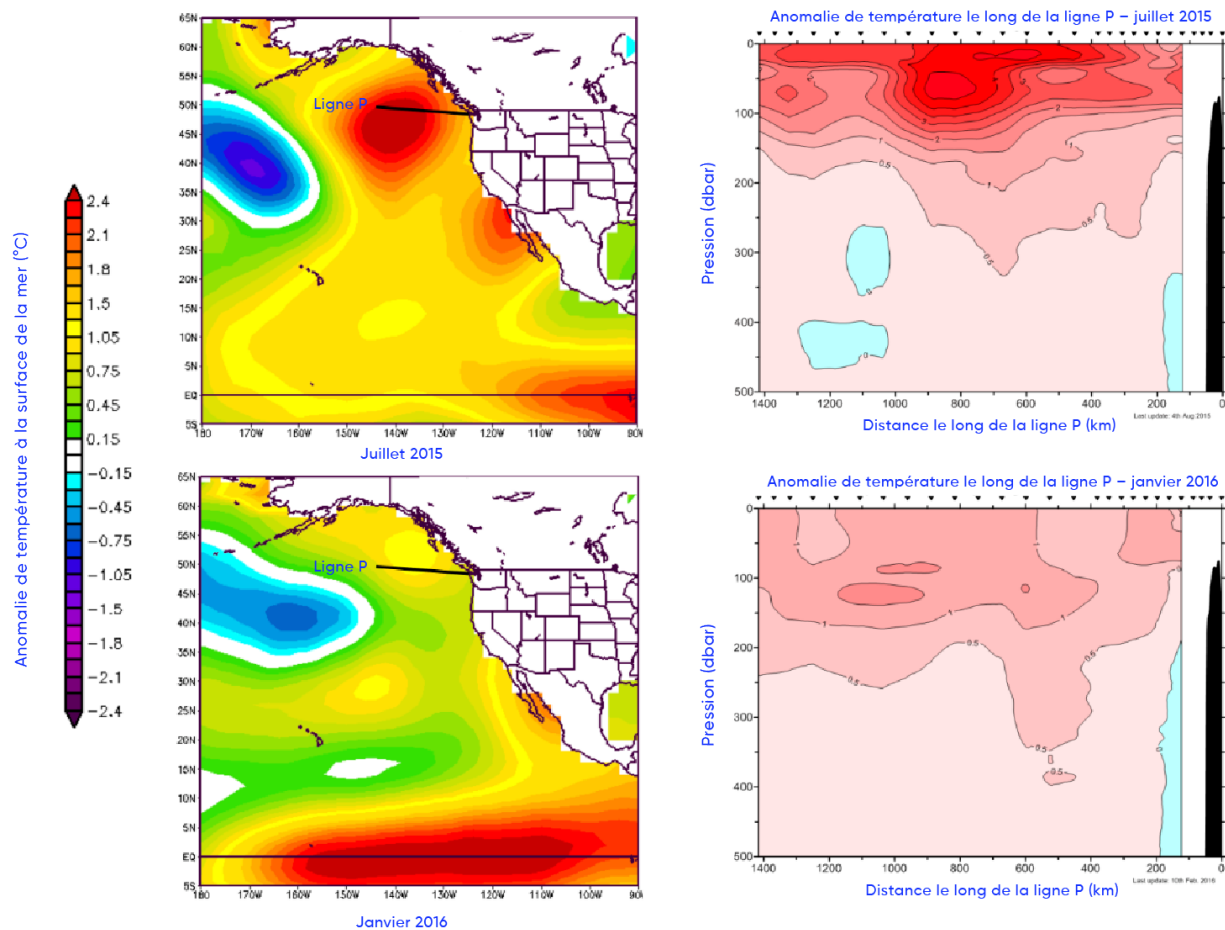


Figure 7.5 : Les encadrés sur la gauche présentent des données sur les anomalies de température à la surface de la mer (National Oceanic and Atmospheric Administration), y compris des informations provenant de satellites, de navires et de bouées amarrées et dérivantes. Les anomalies de température correspondent aux différences entre la température observée et la température moyenne à long terme (toutes deux en degré Celsius) pour un endroit donné. Les couleurs verte, jaune et rouge représentent des températures supérieures à la moyenne, tandis que les couleurs bleue et violette représentent des températures inférieures à la moyenne. Les encadrés à droite montrent les anomalies de température en fonction de la profondeur (en mètres) le long de la ligne P, comme indiqué dans les encadrés à gauche et commençant près de la côte sud-ouest de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique, et menant à la station océanique Papa (145° W, 50° N). Les couleurs sont délimitées par des incréments de 0,5 °C. Source : Adapté de Chandler et coll. 2016.

Les tendances générales au réchauffement documentées depuis le siècle dernier sur la plupart des océans du monde ont déjà entraîné des modifications dans la répartition (Mueter et Litzow, 2008). Les changements dans la répartition des espèces commerciales entraîneront des changements au niveau des emplacements et du succès des efforts de pêche. En définitive, de nouvelles espèces de pêche pourraient remplacer les anciennes. Des mouvements plus faibles ou des changements en abondance peuvent également être observés à l'échelle régionale, puisque les poissons et les crustacés adaptent leur répartition aux changements locaux de température (voir l'étude de cas 7.3).

Étude de cas 7.3 : Réponse du crabe des neiges au réchauffement rapide dans le Canada atlantique

Le crabe des neiges est une espèce d'eau froide avec une limite thermique supérieure de 6–7 °C. Il s'agit de la deuxième pêche la plus rentable dans le Canada atlantique (Pêches et Océans Canada, 2018a). Il a été démontré que sa répartition est en expansion pendant les périodes froides et en contraction pendant les périodes chaudes (Ernst et coll., 2005; Zheng et Kruse, 2000; Tremblay, 1997). Un événement de réchauffement extrême documenté dans les eaux profondes à l'embouchure du chenal Laurentien au large de la Nouvelle-Écosse, à partir de 2012, s'est propagé sur la plate-forme Scotian, avec des températures atteignant 7–9 °C sur sa partie occidentale (Brickman et coll., 2018). Ce réchauffement s'est accompagné d'une baisse prononcée des captures dans cette zone de pêche, ce qui suggère une mortalité locale due au stress thermique, faute de refuges locaux plus froids (Zisserson et Cook, 2017). Ce réchauffement s'est également propagé dans les chenaux profonds du golfe du Saint-Laurent et est toujours en cours (Galbraith et coll., 2018). Dans cet écosystème, les changements dans la répartition et l'abondance du crabe des neiges et d'autres espèces commerciales importantes d'eaux froides, comme le flétan du Groenland et la crevette nordique, ont été en partie causés par un réchauffement des eaux profondes supérieur à 1 °C (Pêches et Océans Canada, 2018b, c, d).

L'attribution des impacts doit prendre en compte les multiples facteurs climatiques et non climatiques qui affectent la répartition des espèces. Par exemple, la pression de pêche, la taille de la population et la température du fond affectent toutes, à des degrés divers, les changements dans la répartition des poissons de fond (Adams et coll., 2018). Cela illustre l'importance d'examiner le rôle conjoint de la pêche et du climat dans la répartition des stocks de poissons afin de fournir des avis scientifiques éclairés à des fins de gestion.

7.3.3 Oxygène dissous

Les poissons et les invertébrés ont besoin d'oxygène pour vivre, bien qu'ils diffèrent dans leur sensibilité au manque d'oxygène dissous (hypoxie). Chaque espèce a un niveau minimum d'oxygène nécessaire à sa survie, une hypoxie sévère entraînant une perte d'habitat et des changements de répartition pour les espèces mobiles et une mortalité accrue pour les espèces immobiles (sessiles) (Breitburg et coll., 2018). Une hypoxie modérée limite la quantité d'énergie que les animaux peuvent dépenser (Claireaux et Chabot, 2016), ce qui se traduit généralement par des taux d'alimentation et de croissance réduits pour les animaux considérés individuellement (Hrycik et coll., 2017; Townhill et coll., 2016), et aboutit à une productivité réduite pour les populations affectées.

Les changements climatiques vont exacerber les problèmes d'hypoxie, car le réchauffement réduit la solubilité de l'oxygène, augmente la consommation biologique d'oxygène et réduit la ventilation dans les océans de la planète, ce qui augmente le temps de séjour en eaux profondes. Un temps de séjour prolongé signifie que les poissons, les invertébrés et les bactéries ont plus de temps pour éliminer l'oxygène par la respiration, et la désoxygénation devient plus prononcée (Breitburg et coll., 2018). L'analyse par modélisation des impacts de l'augmentation de la température et de l'hypoxie dans le golfe du Saint-Laurent indique un déclin significatif de la production de biomasse (voir l'étude de cas 7.4).

Étude de cas 7.4 : La vulnérabilité du flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent

Le flétan du Groenland qui vit dans le golfe du Saint-Laurent est la population vivant dans les eaux les plus chaudes de cette espèce d'eau froide. Cette population est confrontée à une hypoxie chronique sur l'ensemble de sa répartition, avec des niveaux d'oxygène inférieurs à 50 % de saturation. L'hypoxie est la plus aiguë (18–25 % de saturation) en tête des principaux canaux, dont l'estuaire du Saint-Laurent, qui est la principale zone pouponnière de cette population. Les études en laboratoire (Dupont-Prinet et coll., 2013) et l'échantillonnage sur le terrain (Youcef et coll., 2015) montrent tous deux que les faibles niveaux d'oxygène réduisent les taux d'alimentation et de croissance des flétans du Groenland juvéniles. Un modèle de répartition basé sur les conditions environnementales et l'abondance prévoit une réduction de la répartition et de l'abondance de cette espèce dans le golfe du Saint-Laurent d'ici le milieu du siècle (2046–2065) (voir la figure 7.6; Stortini et coll., 2017).

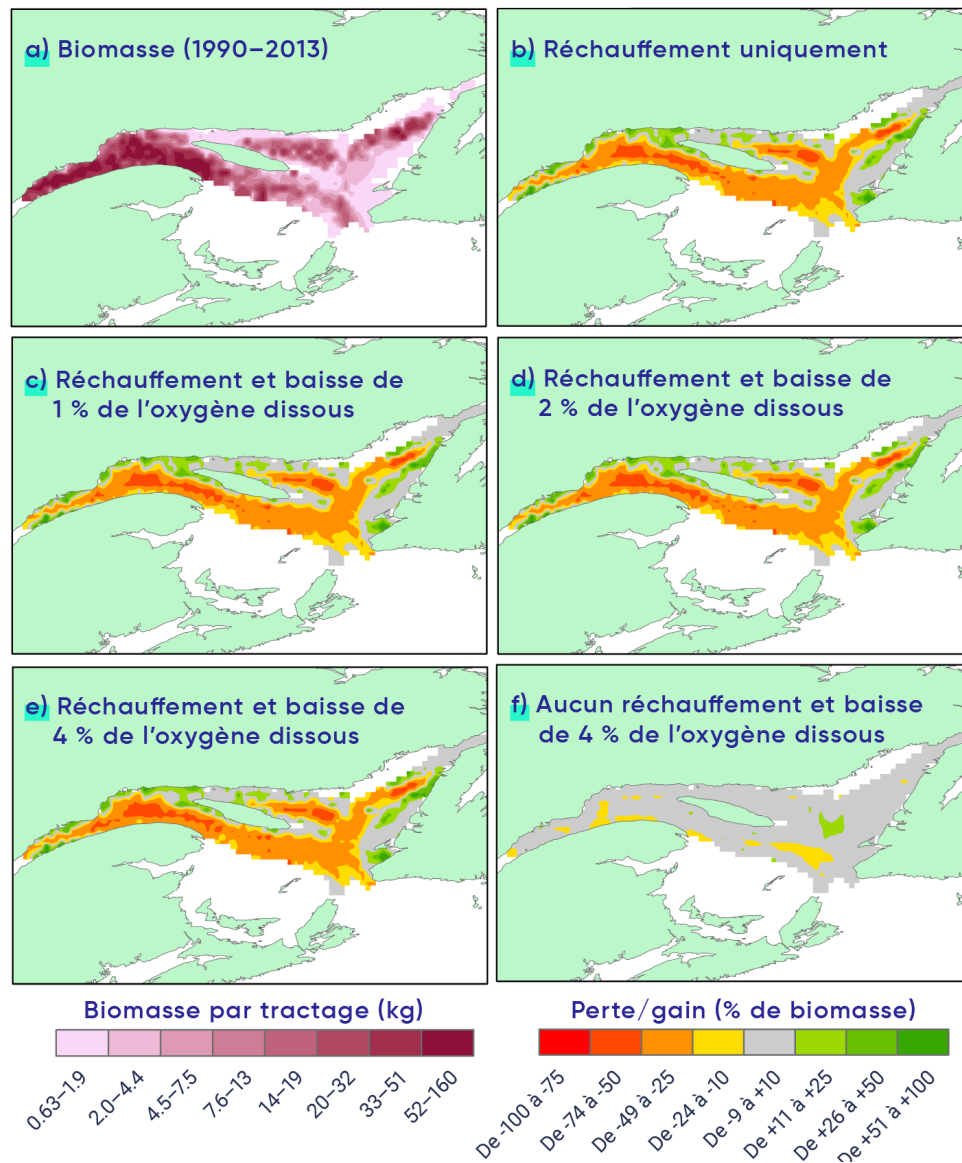


Figure 7.6 : Les résultats de cinq simulations pour la répartition et l'abondance du flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent. a) Données réelles de biomasse pour la période 1990–2013. b) Scénario impliquant uniquement le réchauffement. Les scénarios présentés dans les encadrés c), d) et e) impliquent le même niveau de réchauffement que dans l'encadré b), mais ce réchauffement s'accompagne de différents niveaux de diminution de la teneur en oxygène (c = 1 % de diminution, d = 2 % de diminution et e = 4 % de diminution). f) Scénario avec une baisse de 4 % de la teneur en oxygène, sans réchauffement. Les impacts du réchauffement seul (b) et du réchauffement accompagné d'une baisse de 4 % de la saturation en oxygène dissous (e) semblent similaires avec le codage couleur utilisé, bien que le réchauffement seul ait réduit les aires de haute densité de 49 %, alors que les deux facteurs de stress combinés ont provoqué une réduction de 57 %. Une diminution de l'oxygène dissous sans augmentation de la température ne réduisait la biomasse que de 2 %. Source : Adapté de Stortini et coll., 2017.

7.3.4 Acidification

L'acidification des océans est causée par des concentrations plus élevées de CO₂ dans l'air, ce qui augmente la dissolution du CO₂ dans les océans pour créer de l'acide carbonique et dépasse la capacité de l'océan à servir de tampon contre l'augmentation de la concentration en acide. L'une des mesures de l'acidité est le pH, les valeurs plus faibles représentant un niveau d'acidité plus élevé. Depuis la révolution industrielle, le pH des océans de la planète a diminué en moyenne de 0,1 unité de pH, ce qui représente une augmentation de 26 % du nombre d'ions hydrogène, et il devrait encore diminuer de 0,4 unité de pH d'ici 2100 dans le cadre d'un scénario de fortes émissions (RCP8.5) (Ciais et coll., 2013). De nombreuses études ont montré que les espèces commerciales importantes de poissons, mollusques, crustacés et gastéropodes peuvent subir des effets négatifs lorsqu'elles sont exposées à des eaux acidifiées (Alin et coll., 2019; Parker et coll., 2013; Kroeker et coll., 2010). L'acidification des océans a déjà eu un impact colossal sur les mollusques et crustacés, où les changements dans la chimie des carbonates de l'eau de mer modifient la façon dont les mollusques et crustacés juvéniles (larves) construisent leur coquille, et peuvent provoquer la dissolution de la coquille, des difformités, une croissance lente et même la mort (Waldbusser et coll., 2015; Gazeau et coll., 2013). Les impacts de l'acidification des océans sur l'aquaculture des mollusques et crustacés sont évidents grâce aux liens manifestes entre les concentrations élevées de CO₂ dans l'eau de mer et le faible développement larvaire des huîtres creuses du Pacifique dans l'industrie des mollusques et crustacés des États-Unis (Barton et coll., 2012). Les éclosiers de mollusques et de crustacés produisant des huîtres juvéniles pour l'ensemencement sur le terrain ont été gravement touchés, entraînant des pertes d'argent et d'emplois (Ekstrom et coll., 2015). Dans l'Atlantique, des recherches sont en cours pour examiner les impacts de l'acidification des océans sur le homard américain, qui a une grande valeur commerciale (voir l'étude de cas 7.5).

Étude de cas 7.5 : Les impacts de l'acidification des océans sur la production de homard au Canada atlantique

La pêche au homard est la plus lucrative du Canada atlantique. Les principales zones de production de homard dans le golfe du Maine, la baie de Fundy et la plate-forme Scotian sont très sensibles à l'acidification des océans en raison de la faible capacité tampon régionale et des apports en nutriments provenant des côtes (Gledhill et coll., 2015). Des études sur l'acidification des océans portant sur les premières phases larvaires (stades I à IV) (Keppel et coll., 2012) et les premiers juvéniles de la phase benthique (McLean et coll., 2018) ont révélé un ralentissement de la croissance et une augmentation du temps entre les mues dans des conditions d'eau de mer plus acides. Un pH faible peut également provoquer des difformités chez les larves de homard (voir la figure 7.7). Lorsque les homards sont plus petits et qu'ils demeurent plus longtemps en phase pélagique, la probabilité de prédation augmente, ce qui peut limiter le recrutement benthique (Keppel et coll., 2012). Le retard de croissance des juvéniles benthiques augmente également la susceptibilité à la prédation (McLean et coll., 2018) et affecte en définitive la dynamique des populations. Les homards benthiques juvéniles vivant dans des conditions acidifiées sont également plus sensibles aux maladies de la carapace (McLean et coll., 2018).



Figure 7.7 : Un homard américain au stade IV de développement sain élevé dans des conditions ambiantes (en bas) et une larve de homard déformée au stade IV de développement dans des conditions acidifiées (en haut). Le homard acidifié est plus petit et ses pinces ont été perdues en raison du stress environnemental. Photos d'une étude récente à la station biologique de St. Andrews, Pêches et Océans Canada.

Le réchauffement aura également une incidence sur les populations de homards dans d'autres régions de l'Est du Canada. Les larves sont particulièrement sensibles au réchauffement (Waller et coll., 2017). Les homards sédentaires tolèrent mieux le réchauffement, dont on prévoit qu'il aura un impact neutre ou positif sur le homard dans les zones extracôtières de la plate-forme Scotian (Greenan et coll., 2019b). Il est probable que ce soit le cas au large de Terre-Neuve ainsi que dans le golfe du Saint-Laurent, sauf dans certaines parties du détroit de Northumberland où les températures peuvent dépasser 23,5 °C, seuil que le homard évite (Wilson et Swanson, 2005; Crossin et coll., 1998). De plus, une adaptation de la gestion est possible : la protection des grands individus a été proposée comme stratégie d'adaptation pour réduire l'impact du réchauffement (Le Bris et coll., 2018).

7.3.5 Aller de l'avant

Les stocks de poissons sont évalués en utilisant les meilleures preuves disponibles, produites par la recherche fondamentale et en utilisant des programmes de recherche et de surveillance. Les données qui en résultent sont utilisées pour créer des modèles prévisionnels physiques qui permettent une compréhension à plus long terme des changements climatiques. Les liens connus entre l'abondance des espèces et les variables environnementales peuvent être utilisés pour évaluer la vulnérabilité des espèces au réchauffement (Stortini et coll., 2015), pour faire des projections sur les futurs habitats disponibles et pour faciliter l'adaptation planifiée aux changements de répartition et de productivité (Stortini et coll., 2017; Marras et coll., 2015; Shackell et coll., 2014).

La gestion des pêches combine les recommandations scientifiques avec l'information sociale et économique pour prendre des décisions concernant la pêche. Le Canada a lancé un processus visant à intégrer les changements climatiques dans les recommandations scientifiques sur la pêche, en mettant en premier lieu l'accent sur le processus d'évaluation des stocks dans le cadre de la gestion écosystémique (Pêches et Océans Canada, 2018e). Les stocks commerciaux sont évalués et gérés au sein d'unités de zone de stock, des frontières séparant des stocks distincts. Les changements climatiques ajoutent un niveau de complexité supplémentaire au processus d'évaluation et de gestion, dans la mesure où nous anticipons des changements dans la répartition et la productivité à l'intérieur et au-delà des frontières. Une meilleure compréhension de l'impact des multiples facteurs de stress sur les poissons et les invertébrés aquatiques permettra de développer des modèles plus réalistes de l'abondance et de la répartition futures des espèces commerciales, fournissant ainsi une base scientifique plus solide pour les stratégies de gestion des ressources.

7.4 Les changements climatiques apportent des avantages et présentent des menaces pour le secteur de l'agriculture

Les changements climatiques apportent à la fois des opportunités et des défis au secteur agricole canadien. L'allongement des saisons de croissance et la possibilité de produire des cultures plus au nord pourraient profiter à l'agriculture, tandis que les changements dans la disponibilité de l'eau, les phénomènes météorologiques extrêmes et les organismes nuisibles et les maladies présenteront des défis. Les mesures d'adaptation qui renforcent la résilience aux changements climatiques et tiennent compte des liens entre l'agriculture et les secteurs qui y sont liés, tels que la gestion de l'eau et les transports, seront bénéfiques tant pour la durabilité locale que pour la sécurité alimentaire mondiale.

L'agriculture est intrinsèquement sensible aux changements climatiques. L'augmentation des températures, les transformations des régimes de précipitations et les changements dans la fréquence et l'intensité de certains événements climatiques extrêmes affecteront les cultures et les élevages, à la fois en amplifiant les risques

existants et en apportant de nouveaux risques et de nouvelles opportunités. Le type et le degré des impacts varieront selon les régions agricoles et les systèmes de production. P. ex., l'abondance croissante des espèces d'insectes et de maladies et le risque accru de nouveaux organismes nuisibles et de nouvelles maladies auront un impact sur la santé des cultures et du bétail et pourraient accroître le risque de barrières commerciales. Des risques supplémentaires découlent de la forte dépendance du secteur à l'égard des systèmes de transport pour maintenir l'accès aux marchés, des systèmes qui sont eux-mêmes vulnérables aux impacts des changements climatiques. Les améliorations apportées aux pratiques de gestion à la ferme, notamment l'amélioration de la gestion des engrais, l'adoption de pratiques de culture sans labour afin de minimiser la perturbation des sols et l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ont renforcé la résilience aux changements climatiques du secteur et illustrent une forte capacité d'adaptation.

7.4.1 Introduction

Bien que le secteur agricole canadien soit intrinsèquement adaptatif (Campbell et coll., 2014), sa capacité d'adaptation est mise à l'épreuve par les impacts des changements climatiques, notamment par un déplacement vers le nord de la répartition de nombreuses espèces d'insectes et de maladies et de nouvelles espèces invasives. Les changements dans les configurations de température et les régimes de précipitations, examinés de manière exhaustive dans Zhang et coll. (2019), entraîneront des changements dans la répartition des cultures. Malgré le fait que les précipitations soient appelées à augmenter pour l'ensemble du Canada, des régions telles que le sud des Prairies et l'intérieur de la Colombie-Britannique devraient connaître des déficits hydriques accrus pendant la saison de croissance (Zhang et coll., 2019), ce qui accroîtra l'importance de l'irrigation et d'une bonne gestion de l'eau.

L'agriculture canadienne est également très dépendante de la fiabilité des réseaux de transport pour garantir que les intrants (p. ex. les semences, le carburant, les engrais, les produits et équipements de lutte contre les organismes nuisibles) soient livrés de manière efficace, rentable et dans des délais convenables et pour maintenir l'accès aux marchés intérieurs et internationaux. Les inondations et autres phénomènes météorologiques extrêmes mettront à rude épreuve le système canadien de manutention et de transport des grains (Phillips et Towns, 2017).

Les améliorations apportées au cours des vingt-cinq dernières années ont rendu le secteur agricole canadien plus résilient aux changements climatiques (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »; Campbell et coll., 2014). Une attention accrue a été accordée à la collaboration entre les producteurs, les chercheurs et les décideurs au sein de secteurs interconnectés pour évaluer les impacts et mettre en œuvre de nouvelles mesures d'adaptation, ce qui contribuera à accroître la durabilité du secteur. Cette section examine les récents développements dans la compréhension des impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Canada et les interconnexions essentielles entre l'agriculture et le transport. Une discussion plus approfondie de l'agriculture dans un contexte régional peut être trouvée dans les chapitres régionaux (voir les chapitres « Provinces de l'Atlantique », « Ontario », « Québec », « [Provinces des Prairies](#) » et « Colombie-Britannique »).

7.4.2 Risques climatiques et planification de l'adaptation régionale

La compréhension des risques climatiques pour l'agriculture est éclairée par la saisie des données climatiques observées et projetées dans les modèles agricoles (p. ex. pour les cultures, le bétail, les organismes nuisibles et les maladies) afin de définir les impacts physiques et économiques potentiels. La planification et la mise en œuvre sont nécessaires à différentes échelles pour cibler et déterminer les mesures à prendre dans l'ensemble des chaînes de valeur agricoles, pour renseigner sur les impacts sur les exploitations agricoles et pour déterminer les mesures d'adaptation appropriées.

L'analyse des impacts des changements climatiques sur la production agricole au Canada, résumée précédemment par Campbell et coll. (2014), continue de s'améliorer. Selon les scénarios à émissions moyennes (RCP4.5) et à fortes émissions (RCP8.5), la production de blé (la culture la plus importante au Canada et celle dont la valeur d'exportation est la plus élevée) et d'autres grains semés au printemps devrait augmenter de 8 à 11 % d'ici les années 2050 (2041–2070), par rapport à une période de référence de 2006–2015, dans la plupart des régions agricoles du Canada (Qian et coll., 2019; He et coll., 2018). Un stress thermique accru pourrait réduire les rendements du canola dans le sud des Prairies, ce qui entraînera probablement un déplacement vers le nord des zones de production agricole (Qian et coll., 2018). Les impacts climatiques sur la production de maïs et de soja au Canada demeurent moins concluants, certaines études montrant une meilleure viabilité dans les provinces de l'Atlantique et dans le Centre du Canada, et des opportunités d'expansion dans les Prairies, à condition que les limites hydriques ne soient pas trop restrictives (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »; Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2018; He et coll., 2018; Schauburger et coll., 2017; Sauchyn et Kulshreshtha, 2008).

De graves déficits hydriques sont prévus d'ici les années 2050 pour certaines régions du Canada selon un scénario de fortes émissions (voir la figure 7.8), qui affecteront particulièrement les cultures de grains semées au printemps, comme le blé et l'orge. La rareté de la ressource en eau serait amplifiée par une demande accrue d'eau de la part d'autres secteurs, en particulier là où l'irrigation et l'accès à l'eau sont déjà des contraintes importantes sur la durabilité de l'agriculture. Les changements climatiques devraient augmenter la variabilité de l'approvisionnement en eau et mettre à rude épreuve les systèmes d'irrigation, de drainage et de contrôle des inondations. Par exemple, les eaux de fonte des glaciers, qui représentent environ 10 % du débit estival du fleuve Columbia et de la rivière Bow, seront réduites à presque zéro au cours des 50 à 60 prochaines années à mesure que les glaciers disparaîtront (Derksen et coll., 2019; Fyfe et coll., 2017). La fonte des eaux glaciaires est très importante pour le maintien des débits estivaux dans les rivières de l'Ouest du Canada, pendant la période clé de croissance. L'augmentation de l'efficacité de l'irrigation et de l'utilisation de l'eau dans les exploitations agricoles est un mécanisme d'adaptation essentiel. Actuellement, l'irrigation est pratiquée sur 1,1 million d'hectares des 44 millions d'hectares de terres arables du Canada (2,27 %). Bien qu'il y ait de l'irrigation dans toutes les provinces, plus de 90 % se trouvent en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique.

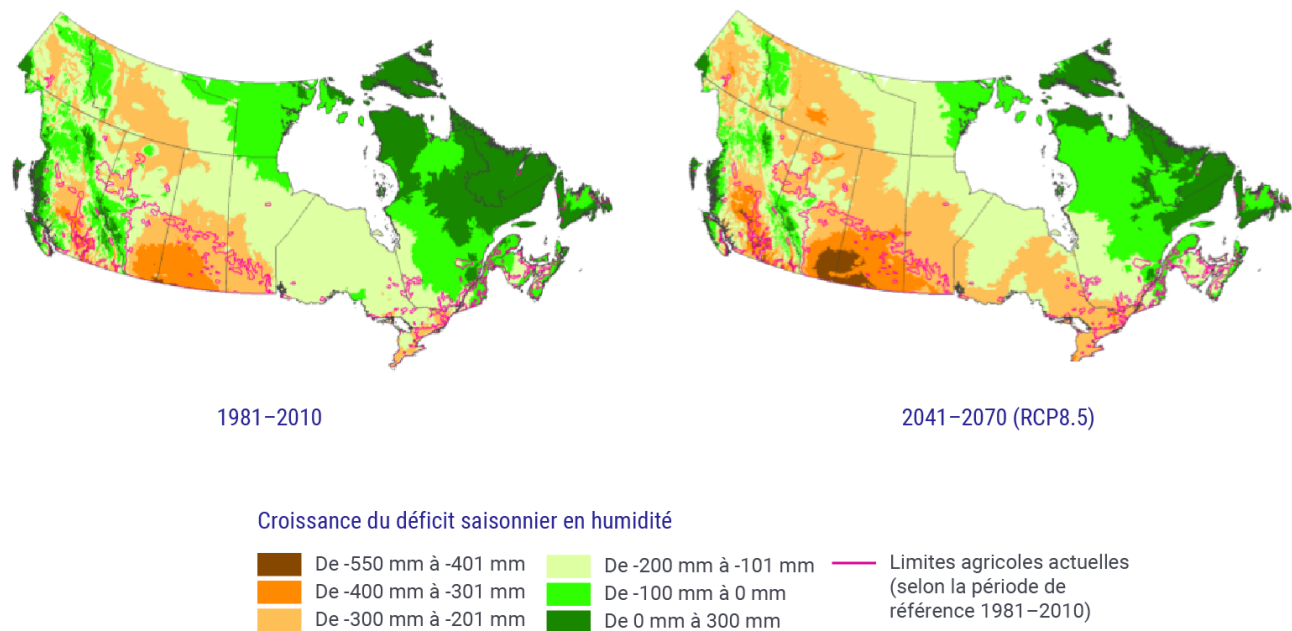


Figure 7.8 : Le déficit hydrique de la saison de croissance (précipitations moins évapotranspiration potentielle) au Canada pour la période 1981–2010 et pour la période 2041–2070, tel que prévu dans le cadre d'un scénario de fortes émissions (RCP8.5). Dans la plupart des régions, l'augmentation des précipitations est plus que contrebalancée par l'augmentation de la température et de l'évaporation associée, ce qui entraîne des déficits hydriques plus importants. Source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2018.

Les risques posés par les maladies animales et les ravageurs des plantes augmentent en raison des changements climatiques, la probabilité d'introduction de nouvelles espèces exotiques envahissantes (EEE) au Canada ayant des conséquences importantes pour le secteur agricole et l'économie du pays. On estime que les espèces envahissantes causent actuellement des pertes annuelles mesurables de 4,2 milliards de dollars au secteur agricole canadien (Agriculture et Agroalimentaire Canada et Agence canadienne d'inspection des aliments, 2008). Celles-ci sont liées à la réduction des rendements de récolte et des revenus, à l'augmentation des coûts de contrôle des EEE, à la perte d'accès aux marchés intérieurs ou d'exportation, ainsi qu'à la diminution de la biodiversité indigène résultant de la concurrence pour les ressources.

La modélisation de l'expansion des ravageurs et des maladies dans un climat en changement indique que les aires de répartition de l'altise des navets, *Phyllotreta striolata* (Fabricius), et de l'altise des crucifères, *P. cruciferae*, toutes deux des EEE en Amérique du Nord, devraient se déplacer et causer des pertes économiques potentielles sur une superficie élargie à l'avenir (Olfert et coll., 2017). L'augmentation des températures hivernales a contribué à accroître la survie hivernale de certains insectes nuisibles (Olfert et coll., 2016) et de certains agents pathogènes, notamment la rouille des céréales dans la région des Prairies (Xi et coll., 2015; Kumar et coll., 2013). Le lien entre les changements climatiques et l'expansion rapide vers le

Nord et l'Ouest de l'aire de répartition de la tique du chevreuil ou tique à pattes noires (*Ixodes scapularis*), qui transmet l'agent de la maladie de Lyme pouvant infecter le bétail et autres animaux d'élevage, ainsi que les humains, est bien documenté (Ogden et coll., 2014). La fièvre catarrhale du mouton, une maladie virale des ruminants transmise par le moucheron piqueur *Culicoides sonorensis*, s'étend du sud-ouest des États-Unis au sud de la Colombie-Britannique et de l'Alberta (Lysyk et Dergousoff, 2014), et s'est récemment étendue au sud de l'Ontario (Jewiss-Gaines et coll. 2017). Les modèles de distribution des espèces basés sur différents scénarios de changements climatiques indiquent que l'aire de répartition de *C. sonorensis* devrait s'étendre vers le Nord en Alberta (Zuliani et coll., 2015).

Les obstacles à l'adaptation dans le secteur agricole (voir la figure 1 de Campbell et coll., 2014) comprennent généralement un manque de connaissance des impacts climatiques, une capacité technique limitée pour évaluer les risques agricoles à une échelle appropriée et des incertitudes associées aux impacts climatiques anticipés et aux mesures d'adaptation (Groupe de travail sur l'adaptation en agriculture, 2016). Les récents efforts déployés par le secteur agricole pour évaluer les risques climatiques et envisager des mesures d'adaptation, tant au niveau régional qu'au niveau des exploitations agricoles, ont commencé à permettre de surmonter ces obstacles. On peut citer comme exemple l'évolution de la méthodologie d'évaluation des risques climatiques et de la planification de l'adaptation agricole au Québec (Ouranos, 2015), au Manitoba (Goertzen, 2018), en Nouvelle-Écosse (Nova Scotia Federation of Agriculture, 2018) et en Colombie-Britannique (ministère de l'Environnement et de la Stratégie sur les changements climatiques de la Colombie-Britannique, 2019). La poursuite des travaux pourrait encore améliorer la compréhension des risques, la sensibilisation du secteur agricole aux impacts climatiques et les mécanismes de soutien aux mesures d'adaptation. De nouvelles connaissances continueront à éclairer des initiatives telles que le Cadre de gestion des urgences en agriculture (Groupe de travail sur le Cadre de gestion des urgences fédéral, provincial et territorial, 2016), qui comprend des éléments permettant de gérer de manière proactive le risque croissant que représentent les organismes nuisibles et les maladies et les problèmes de risques commerciaux éventuels connexes.

7.4.3 Interconnectivité

Le succès de la production agricole au Canada est fortement dépendant des connexions avec les réseaux de transport. Un réseau de transport fiable permet la livraison efficace des intrants nécessaires (tels que les semences, le carburant, les engrais et les équipements agricoles), ainsi que l'accès aux marchés d'exportation. Les changements climatiques présentent un large éventail de risques pour les réseaux de transport au Canada (voir la section 7.7; Palko et Lemmen, 2017), notamment les dommages causés aux infrastructures par les précipitations extrêmes et les inondations, les impacts liés à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations dues aux ondes de tempête dans les terminaux portuaires, le risque accru de flambage des voies ferrées en raison de la chaleur extrême, la fissuration des routes en raison de la dessiccation des sous-sols argileux pendant les périodes de sécheresse et les affouillements pendant les inondations. Tous ces impacts peuvent provoquer des retards dans le transport qui ont un impact négatif sur la chaîne de valeur du secteur agricole (p. ex. les agriculteurs, les transformateurs, les fournisseurs, etc.) de l'échelle locale à l'échelle internationale.

Le système de manutention et de transport des grains au Canada subit fréquemment les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes. Par exemple, des précipitations excessives à Vancouver entre janvier et mars 2011 et des phénomènes météorologiques violents dans les couloirs ferroviaires de montagne de la Colombie-Britannique ont contribué à de longs retards dans le chargement des grains sur des bâtiments dans les ports de Vancouver (Quorum Corporation, 2014). En 2013 encore, les totaux records de récoltes dans les provinces des Prairies, suivis par des conditions hivernales extrêmement froides, ont contribué aux retards de transport pour atteindre les marchés. De tels retards ont un impact sur la réputation du Canada en tant que fournisseur fiable de produits agricoles et entraînent des coûts supplémentaires tant pour les entreprises céréalères que pour les producteurs (Gray, 2015; Quorum Corporation, 2015).

L'importance des marchés d'exportation pour le secteur agricole canadien ne peut être surestimée, environ 42 % de sa production annuelle étant expédiée hors du pays. En 2013, le Canada était le cinquième exportateur mondial de produits agricoles et agroalimentaires (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2016), ses exportations représentant 85 % du canola et de ses produits dérivés, 85 % du lin, 66 % du soja et de ses produits dérivés, 65 % du porc et de ses produits dérivés, et 48 % du bétail et des produits bovins. Au cours des dix dernières années, la moitié de la production céréalère canadienne a été exportée, avec une moyenne de 41 millions de tonnes par an. Les ventes à l'exportation de produits agroalimentaires en 2017 ont totalisé 57,7 milliards de dollars (Alliance canadienne du commerce agroalimentaire, 2020). Si les impacts régionaux des changements climatiques sur la production agricole au Canada vont être importants, ils devraient être beaucoup plus importants dans la plupart des autres grandes régions agricoles du monde (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, 2017; Ignaciuk et Mason-D'Croz, 2014). Cela représente à la fois une opportunité pour les producteurs canadiens (Ignaciuk et Mason-D'Croz, 2014) et un besoin critique en ce qui concerne la sécurité alimentaire mondiale (Mbow, 2019).

7.4.4 Aller de l'avant

Les mécanismes qui soutiennent la capacité régionale à utiliser et à interpréter les informations sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques améliorent la capacité du secteur à planifier et à mettre en œuvre de manière proactive des mesures d'adaptation. Il est également de plus en plus important pour le secteur de collaborer avec d'autres secteurs pertinents, notamment le transport et la gestion de l'eau, sur des enjeux d'adaptation communs. Des initiatives telles que Guetter la sécheresse (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019), qui fournit des informations sur les risques climatiques actuels et offre un mécanisme permettant aux producteurs de soumettre des détails sur les impacts ressentis au niveau des exploitations agricoles, constituent un pas important pour renforcer l'engagement et la collaboration.

7.5 Les changements climatiques posent des nouveaux défis environnementaux pour l'exploitation minière

Les impacts sur la stabilité chimique et physique des structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites sont parmi les plus grands défis liés aux changements climatiques pour l'industrie minière canadienne. La défaillance de telles structures peut entraîner une grave contamination de l'environnement et présenter des risques pour les collectivités et les écosystèmes environnants. La prise en compte des changements climatiques à long terme dès la phase de conception des projets miniers est nécessaire pour réduire ces risques.

Les changements climatiques peuvent affecter chaque phase du cycle de vie d'une mine. Si les défis à court terme, tels que les impacts sur les opérations quotidiennes et la perturbation des chaînes d'approvisionnement essentielles, nécessitent des mesures d'adaptation, les impacts sur les structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites représentent des vulnérabilités majeures pour l'industrie minière canadienne. Les structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites doivent rester en place pendant de nombreuses décennies, voire des siècles, ce qui accroît leur vulnérabilité aux changements climatiques. Si la conception actuelle de ces structures tient compte à la fois des conditions historiques moyennes et extrêmes, elle ne rend pas compte de manière adéquate de toute la gamme des conditions futures probables. Les priorités en matière d'adaptation comprennent l'intégration des projections en matière de changements climatiques dans les conceptions futures, le renforcement de la surveillance des structures existantes et la mise au point de nouvelles méthodes et de nouveaux outils pour améliorer la résilience aux changements climatiques.

7.5.1 Introduction

L'exploitation minière est une composante majeure de l'économie canadienne, de par les activités minières qui ont lieu dans tous les provinces et les territoires. Les impacts des changements climatiques sur le secteur minier sont à la fois directs et indirects, avec un potentiel d'incidence sur chaque phase du cycle de vie d'une mine (Bussière et coll., 2017; Pearce et coll., 2011; Stratos, 2009). Dans de nombreux cas, les changements climatiques exacerberont les risques climatiques existants et en créeront de nouveaux, mais ils offriront également de nouveaux débouchés (Stratos, 2017, 2009; Bussière et coll., 2017; Pearce et coll., 2011). Par exemple, pendant la phase d'exploration, la période plus courte de gel du sol rendra difficile l'accès à certains sites d'exploration. En revanche, une saison chaude plus longue laissera plus de temps pour la cartographie et la livraison des matières premières par bateau ou par hydravion.

Un aperçu des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur minier canadien par Lemmen et coll. (2014) a mis en évidence les risques pour les infrastructures bâties, le transport, l'extraction et le traitement, ainsi que pour les opérations quotidiennes. Les phases de projet les plus touchées sont la gestion des résidus miniers pendant l'exploitation et la restauration des aires de stockage des déchets. Ces

deux phases ont une longue durée de vie, et les considérations climatiques sont donc intégrées dans leur conception (Bussière et coll., 2017). Lemmen et coll. (2014) ont également noté un manque de planification proactive de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur, une conclusion soutenue par une analyse ultérieure qui a trouvé peu de preuves que les politiques gouvernementales ou d'entreprises aient progressé en matière de prise en compte des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques (Stratos, 2017).

Cette section s'appuie sur de précédentes évaluations canadiennes en se concentrant sur ce qui est apparu comme une vulnérabilité climatique fondamentale du secteur minier canadien : les risques pour la stabilité physique et chimique des structures conçues pour contenir les résidus miniers pendant et après les activités minières, et le risque pour l'efficacité à long terme des méthodes de restauration des sites (Bussière et coll., 2017; Stratos, 2017).

7.5.2 Structures de retenue des résidus miniers

Les résidus miniers, composés de roches finement concassées et d'eau, sont stockés dans des bassins de résidus qui sont généralement situés en surface, à proximité de la mine (Blight, 2010; Bussière, 2007; Bussière et coll., 2005; Aubertin et coll., 2002). Le but de ces bassins est de contenir le plus grand volume possible de déchets solides et de permettre le transfert de tout débordement dans un ou plusieurs bassins secondaires (appelés bassins de décantation ou lagune de finition). Ces structures sont généralement créées par la fermeture d'une vallée naturelle ou le bouclage d'une zone existante à l'aide d'une ou plusieurs digues. Ceux-ci sont équipés de systèmes de drainage permettant de réutiliser ou de traiter l'eau, une fois les solides déposés, avec des déversoirs pour contrôler les effluents pendant les périodes de précipitations extrêmes (Blight, 2010; Aubertin et coll., 2002). Étant donné la forte teneur en eau et la faible densité de la plupart des résidus miniers, la stabilité physique de ces structures est difficile à maintenir à court et à long terme. Les structures sont fréquemment modifiées tout au long de la phase d'extraction d'une mine (généralement quelques décennies) pour s'adapter à l'évolution des conditions d'exploitation.

Les approches actuelles de la conception des structures de retenue des résidus tiennent compte des paramètres climatiques moyens et extrêmes, tels que les précipitations maximales probables (PMP) et les crues maximales probables (CMP) (Aubertin et coll., 2015). Les paramètres PMP et CMP sont basés sur des analyses de fréquence des données climatiques historiques et ont une faible probabilité de récurrence annuelle (Association canadienne des barrages, 2013; Aubertin et coll., 2011; Koutsoyiannis, 1999). L'utilisation des CMP est recommandée lors de la conversion en structures permanentes à la fermeture d'une mine, afin d'éviter les ruptures et les conséquences environnementales, humaines et matérielles potentielles (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2019; Association canadienne des barrages, 2013; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012; Aubertin et coll., 2002, 1997; Vick, 2001). Il est important de noter qu'il n'existe actuellement aucune approche méthodologique uniforme pour prendre en compte les changements climatiques dans les calculs des PMP et des CMP.

La fréquence et l'intensité des phénomènes de précipitations extrêmes, ainsi que les niveaux de précipitations annuelles moyennes, devraient augmenter dans la plupart des régions dans l'ensemble du Canada (Zhang et coll., 2019), augmentant le risque d'instabilité physique des structures de retenue des déchets miniers

(Bussière et coll., 2017; Guthrie et coll., 2010; Jakob et Lambert, 2009). La récupération des déchets déversés à la suite d'une rupture de digue est difficile et coûteuse. Par exemple, la défaillance du bassin de résidus de la mine d'Aznalcollar en Espagne en 1998 a entraîné des coûts de restauration du site estimés à environ 230 millions de dollars US (Eriksson et Adamek, 2000). Dans le Nord du Canada, la hausse des températures entraîne une dégradation du pergélisol et une augmentation de la profondeur du dégel annuel (couche active) (Derksen et coll., 2019; Arzhanov et Mokhov, 2013; Zhang et coll., 2008a, b). En conséquence, l'intégrité et la stabilité des structures de rétention des déchets peuvent être compromises. L'augmentation de l'épaisseur de la couche active peut créer des problèmes pour trouver des sites de construction appropriés pour les infrastructures minières. Il convient de noter que les technologies permettant de construire sur le pergélisol existent et que les lignes directrices pertinentes sont bien documentées (Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier, 2012; Doré et Zubeck, 2009; Andersland et Ladanyi, 2003).

7.5.3 Restauration des sites miniers

La restauration des sites miniers consiste notamment à empêcher les contaminants tels que le drainage minier acide (DMA) de s'échapper dans l'environnement (Blowes et coll., 2003). Cela est rendu possible par le maintien de la stabilité chimique à long terme des déchets miniers, car le DMA résulte de l'oxydation des minéraux sulfurés lorsqu'ils entrent en contact avec l'eau et l'oxygène atmosphérique. Les méthodes spécifiques de restauration pour prévenir le DMA sont fortement influencées par les conditions climatiques (voir l'encadré 7.1 et l'étude de cas 7.6).

Encadré 7.1 : Principales méthodes de restauration utilisées au Canada

La restauration des sites de déchets miniers au Canada utilise souvent des couvertures pour empêcher le drainage minier acide (DMA) (voir la figure 7.9). Dans les climats allant de semi-arides à arides, comme le sud des provinces des Prairies et certaines parties du centre-sud de la Colombie-Britannique, où le taux d'évaporation potentielle est élevé et les précipitations annuelles faibles, les systèmes de restauration visent à réduire l'infiltration des précipitations dans les résidus miniers qui pourraient générer un drainage contaminé. Dans les climats humides, comme en Ontario et dans le sud du Québec, où le taux d'évaporation potentiel est relativement faible avec des précipitations annuelles élevées, il faut également créer des barrières pour contrôler la migration de l'oxygène. Dans les climats arctiques et subarctiques avec pergélisol permanent, le contrôle du drainage minier contaminé consiste généralement à maintenir les déchets réactifs à basse température en appliquant des couvertures isolantes qui utilisent les propriétés hydrothermales du matériau (applicable pour des températures annuelles moyennes inférieures à -7 °C; Holubec, 2004). Certaines techniques utilisées dans des climats plus tempérés (p. ex. les inondations, les couvertures imperméables) peuvent également être appliquées pour lutter contre le DMA dans les régions froides (voir la figure 7.9; Aubertin et coll., 2016, 2015).

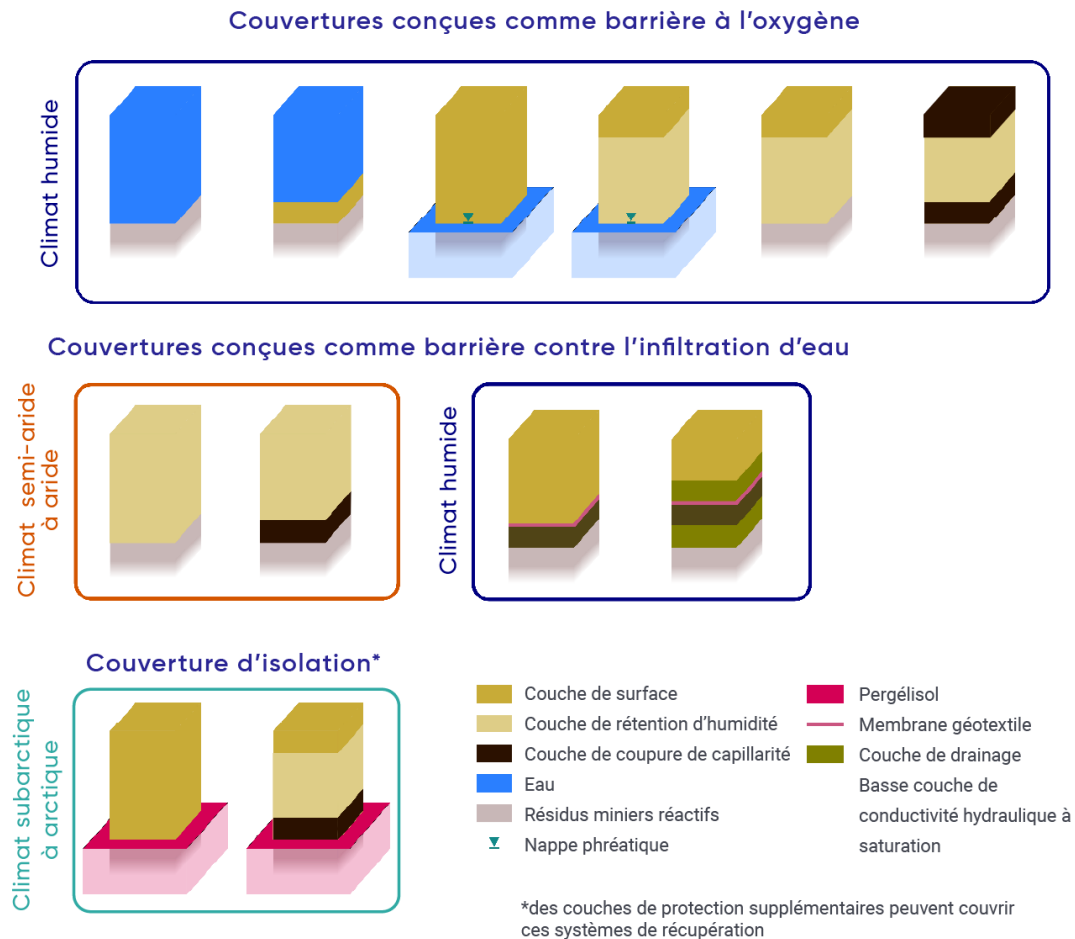


Figure 7.9 : Principales méthodes de restauration utilisées au Canada. Les méthodes sont conçues pour traiter les problèmes critiques qui diffèrent selon les régions climatiques. Source : Adapté de Bussière et coll., 2017.

Étude de cas 7.6 : Restauration du site minier de Lorraine, au Québec

Le site minier de Lorraine, dans l'ouest du Québec, a été opérationnel de 1964 à 1968. Le bassin de résidus sur ce site couvre une superficie de 15,5 hectares et a été abandonné pendant environ 30 ans. Au cours de cette période, un important drainage minier acide (DMA) a été produit. Pour réduire l'impact environnemental du DMA, un projet de restauration a été entrepris à l'été 1998 (Bussière et coll., 2009; Nastev et Aubertin, 2000). Divers enjeux ont été pris en compte dans le choix de la conception la plus appropriée, notamment le climat local, les caractéristiques géochimiques des résidus miniers et la disponibilité des matériaux non consolidés. La région reçoit des précipitations annuelles importantes (900–1000 mm) et le taux d'évaporation

est faible (400–500 mm). Dans un climat aussi humide, le contrôle de la génération de DMA se concentre sur la réduction de la migration de l'oxygène plutôt que sur l'utilisation d'une barrière à eau (voir l'encadré 7.1). L'approche de restauration recommandée pour ce site était la construction d'une couverture avec effet de barrière capillaire (CEBC) pour limiter la migration de l'oxygène dans les déchets réactifs.

Ce site est surveillé depuis la construction du CEBC. Les mesures effectuées sur le site montrent qu'après une période transitoire de deux ans (1999–2000), le CEBC a été en mesure de limiter efficacement la migration de l'oxygène (voir la figure 7.10; Bussière et coll., 2009; Dagenais et coll., 2001). Les flux d'oxygène mesurés sont même inférieurs à l'objectif visé lors de la conception. Une modélisation numérique intégrant les changements climatiques a été menée pour évaluer la performance de la remise en état sur le long terme. Les résultats montrent que, dans ce cas particulier, les changements climatiques n'auront pas d'impact significatif sur les performances du CEBC d'ici 2100 (Hotton et coll., 2019).



Figure 7.10 : Évolution du site minier de Lorraine, au Québec, restauré à l'aide d'une couverture avec effets de barrière capillaire. a) Avant la restauration, b) Après la restauration de 1998 et c) le site en 2007. Source : Adapté de Bussière et coll., 2009.

L'efficacité à long terme des systèmes de restauration est affectée par de nombreux facteurs (Aubertin et coll., 2015, 2002) liés aux propriétés des matériaux de couverture, à la configuration et à l'emplacement de la zone de confinement à remettre en état, ainsi qu'aux changements climatiques. Comme la durée de vie requise des structures de restauration est supérieure à 100 ans, c'est l'étape du cycle minier la plus susceptible d'être gravement touchée par les changements climatiques.

Les principaux risques liés aux changements climatiques lors de la remise en état des sites miniers sont la réduction de l'efficacité des couvertures isolantes, des barrières d'infiltration d'eau et des barrières d'oxygène et la défaillance des structures de retenue sur les sites en cours de restauration (voir la figure 7.11; Bussière et coll., 2017; Lemmen et coll., 2014). Les impacts directs des changements climatiques les plus préoccupants sont les suivants : 1) des températures plus élevées qui augmentent la profondeur de la couche active dans les régions subarctiques et arctiques, ce qui pourrait entraîner le dégel des déchets susceptibles de générer du DMA; 2) une augmentation des précipitations extrêmes qui pourrait entraîner la défaillance physique des digues ou d'autres structures lors de l'utilisation des méthodes de restauration telles que la couverture d'eau et les techniques d'élévation de la nappe phréatique et 3) des sécheresses plus longues ou

plus fréquentes qui pourraient compromettre l'efficacité des barrières d'oxygène qui nécessitent des niveaux élevés de saturation dans les résidus miniers ou les couvertures. Les impacts indirects des changements climatiques, tels que les changements de végétation sur les sites revégétalisés qui affectent le bilan hydrique et les propriétés des matériaux de couverture, peuvent également avoir un impact positif ou négatif sur l'efficacité de la restauration à court et à long terme (Guittonny et coll., 2018; Reinecke et Brodie, 2012).

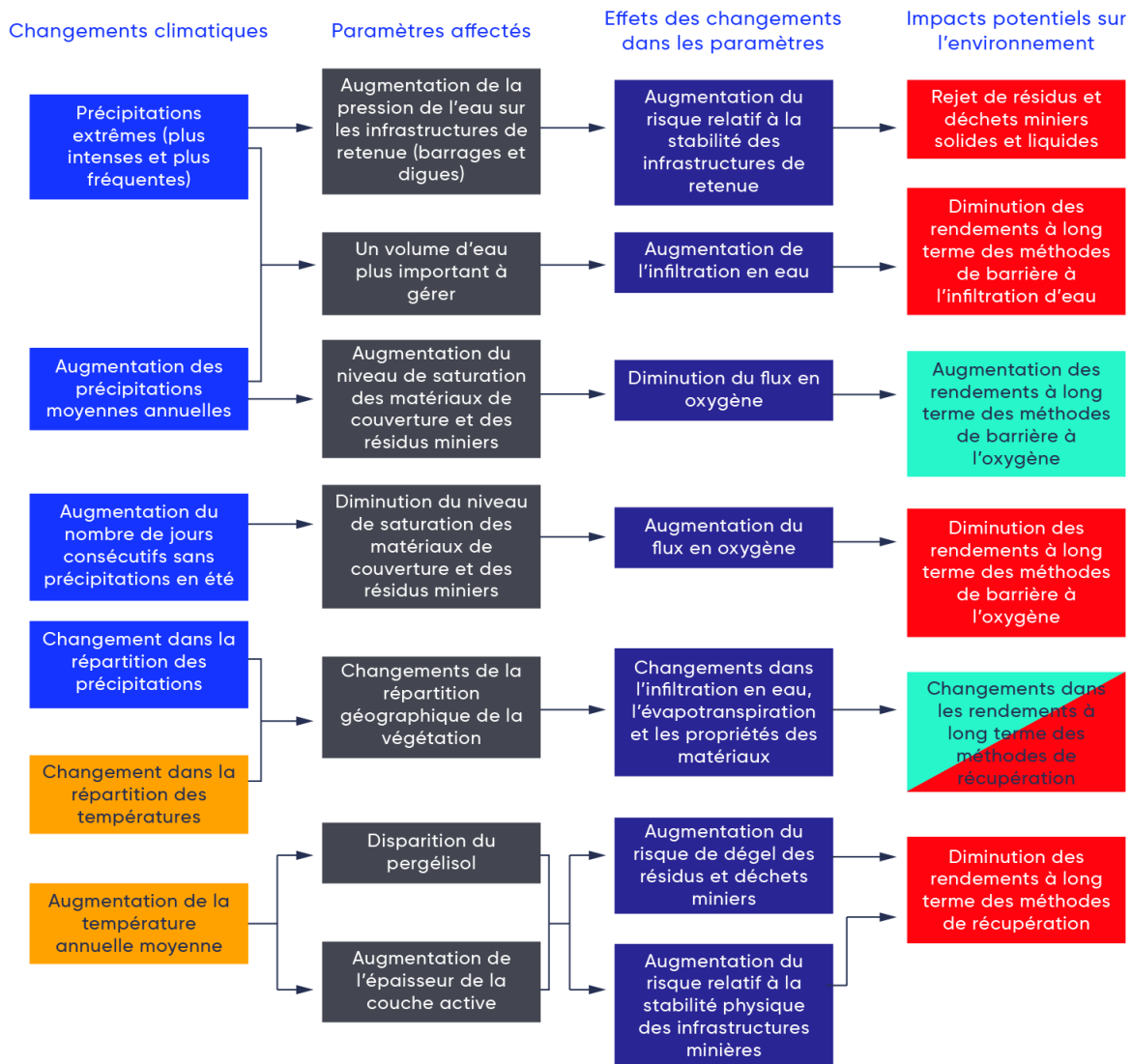


Figure 7.11 : Résumé des principaux changements climatiques attendus et de leurs implications pour les structures de retenue des déchets miniers et de restauration.

7.5.4 Adaptation

Le maintien de la stabilité des structures de retenue des résidus représente actuellement un défi majeur pour l'industrie minière lorsqu'elle suit les méthodes de rétention conventionnelles (Aubertin et coll., 2011; Azam et Li, 2010). Les changements climatiques amplifieront ces risques. L'adaptation consistera à envisager des approches qui réduisent la dépendance à l'égard des digues pour retenir de grands volumes d'eau et de pulpe de résidus miniers. Les résidus épaissis ou filtre-pressés pourraient être une option viable (Bussière, 2007). Les approches d'évacuation simultanée des stériles et des résidus miniers pourraient également améliorer la résistance mécanique des structures de retenue des résidus miniers (Aubertin et coll., 2016, 2011; Wilson et coll., 2003). La réutilisation des ouvertures des mines (puits à ciel ouvert ou vides souterrains) pour le stockage des stériles et des résidus peut également contribuer à réduire les problèmes d'instabilité des digues (Aubertin et coll., 2016, 2015). Si les entreprises minières choisissent d'utiliser des méthodes conventionnelles pour le stockage des résidus miniers, les impacts des changements climatiques doivent être intégrés dans l'analyse de la gestion des risques au cours de la phase de conception. Des approches à cet effet sont en cours d'élaboration conjointement avec l'Association minière du Canada et l'Association canadienne des barrages.

Bien que la plupart des gouvernements exigent maintenant de prouver que les changements climatiques ont été pris en compte dans la conception de tout projet de restauration (p. ex. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012 pour le Québec), l'absence de directives précises sur la façon de modifier les méthodes de restauration dans le contexte des changements climatiques reste un obstacle à une adaptation efficace.

Des outils et des analyses spécifiques sont nécessaires : par exemple, pour éclairer la conception des barrières à l'oxygène, où une sécheresse prolongée pourrait entraîner une désaturation de la couverture, augmentant de ce fait l'entrée d'oxygène (Bresson et coll., 2018; Hotton et coll., 2018). Bien que des études menées au Québec aient simulé une période d'environ deux mois sans apports d'eau (Éthier et coll., 2018; Bussière et coll., 2003), le choix de cette période n'a pas été fondé sur une analyse systématique des données météorologiques et la probabilité qu'un tel événement se produise est inconnue. Il faut avoir des outils pour quantifier l'évolution du risque de sécheresse extrême dont il faut tenir compte dans la conception des barrières à l'oxygène. Pour les sites situés dans des climats froids, où l'augmentation des températures et des précipitations aura un impact majeur sur la performance des méthodes de restauration, le besoin en outils de planification de l'adaptation est particulièrement urgent.

Une meilleure compréhension des impacts locaux est également nécessaire pour éclairer la plantation de végétation pérenne sur les sites de restauration. Au fil du temps, les modifications des écosystèmes induites par les changements climatiques entraîneront des changements dans la répartition des espèces sur les sites, mais les impacts sur l'efficacité à long terme des systèmes de restauration sont largement inconnus (Guittonny et coll., 2018). La surveillance des performances de ces sites, pour documenter si ces changements entraînent une détérioration ou une amélioration du système de restauration, fournirait des informations importantes.

7.5.5 Aller de l'avant

Les nouvelles approches et les nouveaux outils qui prennent en compte les changements climatiques dans les processus de planification, de conception et de gestion des risques des activités minières fournissent une base solide à l'industrie minière et aux gouvernements pour réduire la vulnérabilité du secteur aux changements climatiques. Bien que de nombreuses études aient recommandé de tenir compte des changements climatiques dans la gestion des résidus miniers (p. ex. Rousseau et coll., 2014; Stratz et Hossain, 2014; Pearce et coll., 2009; Aubertin et coll., 2002), l'incertitude quant à la prévision des changements, en particulier des phénomènes de précipitations extrêmes (Mailhot et coll., 2014), reste un obstacle à la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Les solutions exigent une collaboration entre les ingénieurs miniers et les services climatiques dans la mise au point des méthodes et des lignes directrices actualisées ou nouvelles, pour évaluer les impacts climatiques qui peuvent être pris en compte dans la conception des structures de retenue des résidus et des méthodes de restauration des sites miniers.

La longévité des structures de retenue des résidus et de restauration des sites augmente leur vulnérabilité aux changements climatiques. La stabilité physique et chimique de ces structures est essentielle pour éviter le rejet de contaminants nocifs dans l'environnement. Des outils et un encadrement sont nécessaires pour permettre aux concepteurs de mieux s'adapter à la fois aux changements de conditions météorologiques extrêmes causés par les changements climatiques et aux changements à évolution lente tels que la dégradation du pergélisol, et pour mettre au point des méthodes de restauration résilientes aux changements climatiques. Dans certains cas, il est possible que, pour un site donné, la « meilleure » solution pour les conditions climatiques actuelles ne soit pas la solution optimale pour les conditions futures. Des structures de retenue des résidus et de restauration mieux conçues aux sites miniers actifs et fermés peuvent réduire considérablement le risque à long terme de contamination de l'environnement. Dans le cas d'infrastructures plus âgées, il serait judicieux de procéder à des analyses pour s'assurer que ces installations seront en mesure de résister aux conditions futures. Dans le cas contraire, des mesures correctives devront être mises en œuvre pour maintenir l'intégrité à long terme de ces structures.

7.6 Chaque lien de la chaîne de valeur énergétique peut être vulnérable aux changements climatiques

Un climat en changement affecte la demande d'énergie ainsi que l'entièreté de la chaîne de valeur énergétique, allant de l'exploration et de la production au transport, jusqu'à la distribution. Il est possible d'intégrer les risques climatiques dans la planification actuelle des opérations en considérant les avantages connexes, les options sans regrets et les approches différentielles. Dans la transition vers des filières énergétiques à faibles émissions de carbone, la résilience climatique est une considération primordiale.

Le réchauffement du climat augmente la demande de climatisation en été et diminue la demande de chauffage en hiver. L'approvisionnement énergétique est sensible à une vaste gamme d'impacts climatiques, dont les changements du pergélisol, de la couche de glace, du niveau de la mer, du régime des vagues, du régime des précipitations, du débit des rivières, ainsi qu'à des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les ouragans et les tempêtes de verglas. Ces impacts peuvent perturber la chaîne de valeur énergétique, entraînant des conséquences économiques et sociales majeures. L'utilisation d'outils examinant les risques climatiques contribue à inscrire l'adaptation au sein des pratiques actuelles de planification des opérations et à déterminer les occasions propices à l'introduction de mesures d'adaptation au moment opportun (p. ex. pendant l'entretien, la rénovation et l'amélioration). Compte tenu des investissements majeurs pour passer à des filières énergétiques à faibles émissions durant les prochaines décennies, il sera important de s'assurer que la résilience aux changements climatiques fera partie de la conception des infrastructures.

7.6.1 Introduction

L'énergie est une composante importante de l'économie canadienne, comptant pour près de 10 % du produit intérieur brut (PIB). Les services essentiels comme le transport, les communications, les systèmes de santé, l'approvisionnement en eau potable, le système d'égout, mais également les ménages et les entreprises, dépendent des filières énergétiques. Leur fiabilité est donc indispensable à l'activité économique et au bien-être au Canada. Les actifs énergétiques ont toujours été exposés à des conditions climatiques hautement variables et extrêmes et ont été construits pour fonctionner correctement sous ces conditions. Cependant, ces actifs ont été construits selon des normes climatiques historiques, soulevant ainsi certaines préoccupations quant à leur résilience face aux changements climatiques en changement. Les changements climatiques observés et projetés qui affectent énormément le Secteur de l'énergie, comme des changements de température et des extrêmes de précipitations (Zhang et coll., 2019), du pergélisol, de la neige et de la glace marine (Derksen et coll., 2019), de l'écoulement fluvial (Bonsal et coll., 2019) et du climat océanique (Greenan et coll., 2019a), sont décrits dans Bush et Lemmen (2019). Les phénomènes extrêmes récents mettent en évidence les vulnérabilités du Secteur de l'énergie, comme les feux de forêt de 2016 à Fort McMurray (Horse River), qui ont dévasté la collectivité et causé une réduction marquée de la production de

sables bitumineux d'environ 47 millions de barils, entraînant une perte de revenus de 1,4 milliard de dollars pour les producteurs (voir l'étude de cas 7.1; Antunes et coll., 2016; Office national de l'énergie, 2016).

Le climat en changement a également des impacts directs et indirects sur la demande d'énergie. Des hivers plus chauds réduisent la demande de combustibles fossiles et d'électricité pour le chauffage (Mantle314, 2019), alors que l'augmentation des jours chauds en été gonfle la demande d'électricité pour la climatisation (Ortiz et coll., 2018; Jaglom et coll., 2014). Les impacts indirects sont associés aux interventions sociétales et gouvernementales pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, interventions qui entraînent des impacts divergents sur les sources d'énergie renouvelable et non renouvelable (Agence internationale de l'énergie, 2016a).

Les évaluations antérieures des impacts des changements climatiques et de l'adaptation ont souligné la diversité du Secteur de l'énergie du Canada, notant que l'essentiel de la recherche se concentre sur la production d'hydroélectricité et la distribution d'électricité (Lemmen et coll., 2014). Les impacts des intempéries extrêmes sur les infrastructures essentielles et une disparité entre une production hydroélectrique réduite et une augmentation de la demande en électricité durant les vagues de chaleur faisaient partie des principaux risques relevés. Des technologies de réseau intelligent et des mesures liées au design urbain qui réduit les effets d'îlot de chaleur ont été citées comme exemples d'adaptation (Lemmen et coll., 2014). La recherche limitée sur les impacts des changements climatiques sur les ressources en énergie renouvelable autre que l'hydroélectricité était une des lacunes relevées en matière de connaissances. L'évaluation environnementale et la divulgation des risques ont été établies comme les nouveaux vecteurs des mesures d'adaptation dans le secteur (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; Lemmen et coll., 2014).

7.6.2 Risques pour la production et le transport d'énergie

Les impacts des changements climatiques varient selon le type d'énergie et la région, et peuvent se produire à des périodes différentes. Le secteur pétrolier et gazier canadien fournit la majeure partie des transports et représente 10 % de la production d'électricité du Canada (Ressources naturelles Canada, 2018). L'exploration, l'extraction, la production et la livraison du pétrole et du gaz seront affectées par les changements climatiques (Mantle314, 2019; Cruz et Krausmann, 2013). Les pipelines, les routes et les bâtiments sont touchés par la dégradation du pergélisol, les ruptures de versants et les inondations. Dans les régions nordiques, la fonte du pergélisol et la diminution de la disponibilité des routes de glace stables nuisent au transport et nécessitent des changements d'horaires. La débâcle des rivières se produira plus tôt dans l'année et les inondations dues aux embâcles pourraient être plus fréquentes. L'élévation du niveau de la mer modifiera les risques d'inondation et augmentera l'érosion côtière. Une forte demande en eau pour la production d'énergie, y compris pour les sables bitumineux, peut constituer un risque, car la disponibilité globale de l'eau diminue dans certaines régions et les sécheresses sont susceptibles de s'intensifier (Bonsal et coll., 2019). Les activités extracôtières pourraient bénéficier d'un accès accru aux ressources de l'Arctique en raison de la réduction de la glace de mer, mais elles seront toujours confrontées à des risques importants liés à la glace dans les régions nordiques et, ailleurs, aux impacts accrus des vagues (Mantle314, 2019; Stantec Consulting Ltd., 2012). Bien qu'elle ne soit pas directement liée à la production, la technologie de captage et de stockage du carbone (CSC) est essentielle à la transformation du secteur pétrolier et gazier

en filières à faibles émissions de carbone. En effet, le Conseil mondial de l'énergie a déclaré qu'« il est peu probable que le réchauffement climatique soit maintenu en deçà de 2 °C sans l'introduction et l'adoption généralisée du CSC, et le coût de l'atténuation serait plus élevé en l'absence de CSC » (Conseil mondial de l'énergie et coll., 2014, p.12). Toutefois, les technologies de CSC consomment beaucoup d'eau, puisqu'elles utilisent presque deux fois plus d'eau que les installations de captage et de stockage sans carbone, ce qui les rend vulnérables aux changements climatiques quant à la disponibilité de l'eau douce (Association internationale de l'énergie, 2015).

Les installations de production thermique à partir des combustibles nucléaires et fossiles dépendent d'une quantité suffisante d'eau pour le refroidissement et peuvent être confrontées à une réduction de l'efficacité du refroidissement en raison de la hausse de la température de l'eau ou de la contamination des entrées d'eau pour le refroidissement (p. ex., par des algues, des moules zébrées ou des particules de glace pendant les cycles de gel et de dégel) (Association canadienne de l'électricité, 2016; Braun and Fournier, 2016). Les programmes d'entretien des installations nucléaires peuvent être perturbés par l'augmentation des températures ambiantes, car la température influe sur le nombre de travailleurs autorisés dans les voûtes. La fermeture de centrales nucléaires en France en raison du manque d'eau pour le refroidissement lors de la vague de chaleur de 2003 (Kopytko et Perkins, 2011) est un exemple de ces impacts extrêmes.

L'hydroélectricité représente 59 % de la production d'électricité au Canada (Ressources naturelles Canada, 2018). Comme il s'agit d'une source d'énergie renouvelable qui dépend directement des conditions climatiques, la production d'hydroélectricité est influencée par les changements de température, les précipitations et la couverture de neige. Des hivers plus courts entraîneront des inondations printanières plus hâtives et la fonte des neiges y contribuera moins. Les débits en hiver devraient être plus élevés, et les débits en fin d'été pourraient baisser dans de nombreuses régions du Canada (Bonsal et coll., 2019). Aux latitudes plus élevées, où l'augmentation des précipitations n'est pas compensée par une évapotranspiration accrue, le potentiel de production peut augmenter. Cependant, avec les changements de fréquence et d'intensité des précipitations, les risques pour les infrastructures peuvent également augmenter et des changements dans la gestion de l'eau seraient nécessaires pour réduire les pertes au minimum. La grande souplesse que procure la capacité de stockage des centrales hydroélectriques leur permet de jouer un rôle déterminant dans la transition vers une filière énergétique à faibles émissions de carbone, en assurant la stabilité des réseaux électriques qui intègrent des énergies renouvelables plus volatiles telles que l'éolien et le solaire (Agence internationale de l'énergie, 2018). Une étude de 200 projets dans le Secteur de l'énergie suggère que l'hydroélectricité est le sous-secteur le plus avancé en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques (Braun and Fournier, 2016).

Les énergies renouvelables non hydroélectriques, qui comprennent l'éolien, le solaire et la biomasse, occupent une place de plus en plus importante dans le bouquet énergétique du Canada, une tendance qui se maintiendra (voir la figure 7.12; Office national de l'énergie, 2018, 2017). La production d'énergie éolienne diminue lorsque la densité de l'air est plus faible et la température plus élevée. Une augmentation de la température de l'air de 5 °C entraîne une diminution de la densité de l'air de 1 à 2 % et une baisse proportionnelle de la densité énergétique, ce qui affecte la production d'électricité (Pryor et Barthelmie, 2010). Toutefois, la production d'énergie éolienne pourrait bénéficier de vents plus soutenus et plus forts. La croissance rapide du marché de l'énergie éolienne renouvelable (voir la figure 7.12) reflète le poids croissant des sources d'énergie renouvelable au sein de l'économie en réponse aux changements climatiques. La

capacité solaire augmente encore plus rapidement que l'énergie éolienne, et devrait tripler d'ici 2040 (voir la figure 7.12; Office national de l'énergie, 2018, 2017). Bien que des préoccupations existent quant au fait qu'une augmentation de la couverture nuageuse due au changement des configurations météorologiques et aux phénomènes météorologiques extrêmes pourrait avoir des répercussions sur la production d'énergie solaire (Conseil mondial de l'énergie et coll., 2014), l'importance de ces répercussions dépend des régions. Au Canada, il convient de poursuivre la recherche.

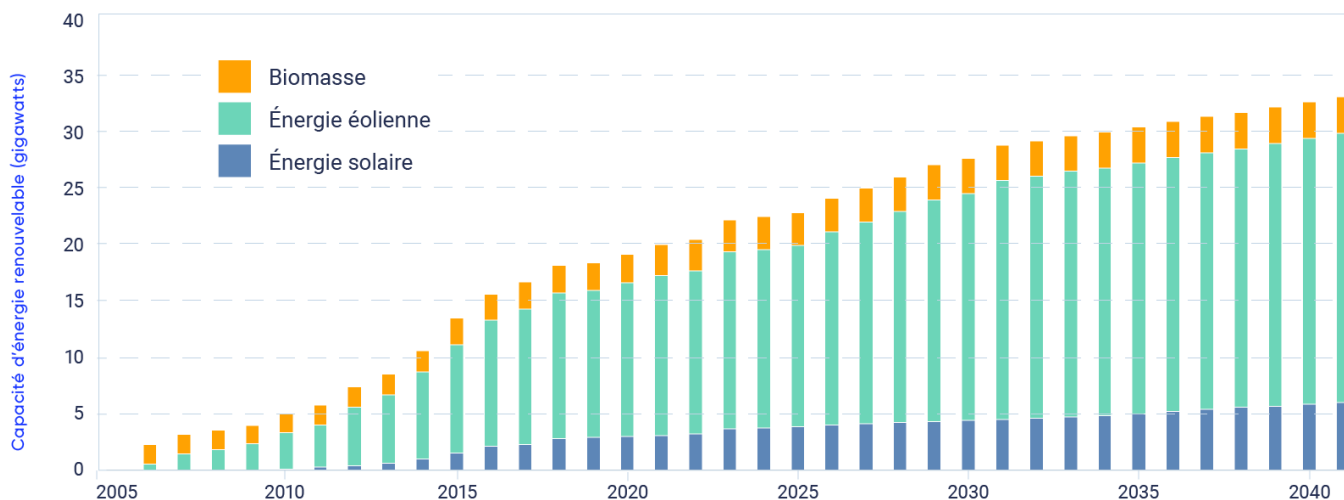


Figure 7.12 : Changements observés et prévus dans la capacité d'énergie renouvelable non hydroélectrique au Canada entre 2005 et 2040 selon le scénario de référence de l'Office national de l'énergie. Des taux de croissance plus élevés sont prévus selon un scénario technologique (Office national de l'énergie, 2018). Source : Adapté de l'Office national de l'énergie, 2018.

Le secteur du transport et de la distribution d'électricité sera perturbé par de nombreux facteurs, dont les suivants : 1) l'augmentation des températures, qui peut augmenter la résistance des lignes d'environ 0,4 % par hausse de 1 °C et diminuer la capacité de charge des lignes de 0,5 à 1 % par hausse de 1 °C; 2) l'expansion thermique des lignes électriques, qui affecte la distance sécuritaire à respecter (une hausse de 1 °C peut entraîner un affaissement des lignes de 4,5 cm); 3) les précipitations extrêmes qui augmentent le risque d'inondation des installations souterraines; et 4) les vents violents et les rafales qui peuvent endommager les lignes (Banque asiatique de développement, 2013, 2012).

7.6.3 Adaptation

Il existe plusieurs exemples d'adaptation de l'industrie énergétique aux changements climatiques en changement au Canada et dans le monde. La Western Power Distribution au Royaume-Uni a étudié l'impact des températures ambiantes plus élevées sur son réseau et a développé une approche « à faible regret » pour s'adapter à une augmentation de 5 °C de ses lignes. Pour compenser l'affaissement accru prévu des lignes,

elle a commencé à remplacer progressivement les poteaux dans le cadre de l'entretien normal (Western Power Distribution, 2011). Hydro-Québec a adopté une méthode pour améliorer ses prévisions de la demande énergétique en appliquant un facteur de révision dérivé du modèle climatique à l'enregistrement historique des températures avant de faire fonctionner le modèle de prévision (Braun, 2016). Une approche semblable pour améliorer les prévisions de débit a été adoptée par le fournisseur national d'électricité islandais Landsvirkjun, qui a ajusté son record de débit en fonction des projections climatiques (voir l'étude de cas 7.7; Fournier, 2016).

Étude de cas 7.7 : Possibilités d'augmentation de la production hydroélectrique en Islande

L'électricité et le chauffage en Islande sont entièrement issus de sources renouvelables (hydrologique et géothermique). Le réchauffement des températures et l'augmentation des précipitations entraînent une augmentation de la fonte des glaciers, du ruissellement et de la capacité de production. Toutefois, la conception du système actuel en Islande ne permettra d'utiliser que 30 % du ruissellement supplémentaire prévu. L'optimisation des possibilités offertes par les changements climatiques nécessitera de nouveaux investissements pour augmenter le stockage dans le système (voir la figure 7.13; Sveinsson, 2015). Des démarches de planification similaires pourraient être adaptées dans le Nord du Canada où une augmentation du ruissellement est prévue en raison des changements climatiques (Bonsal et coll., 2019).

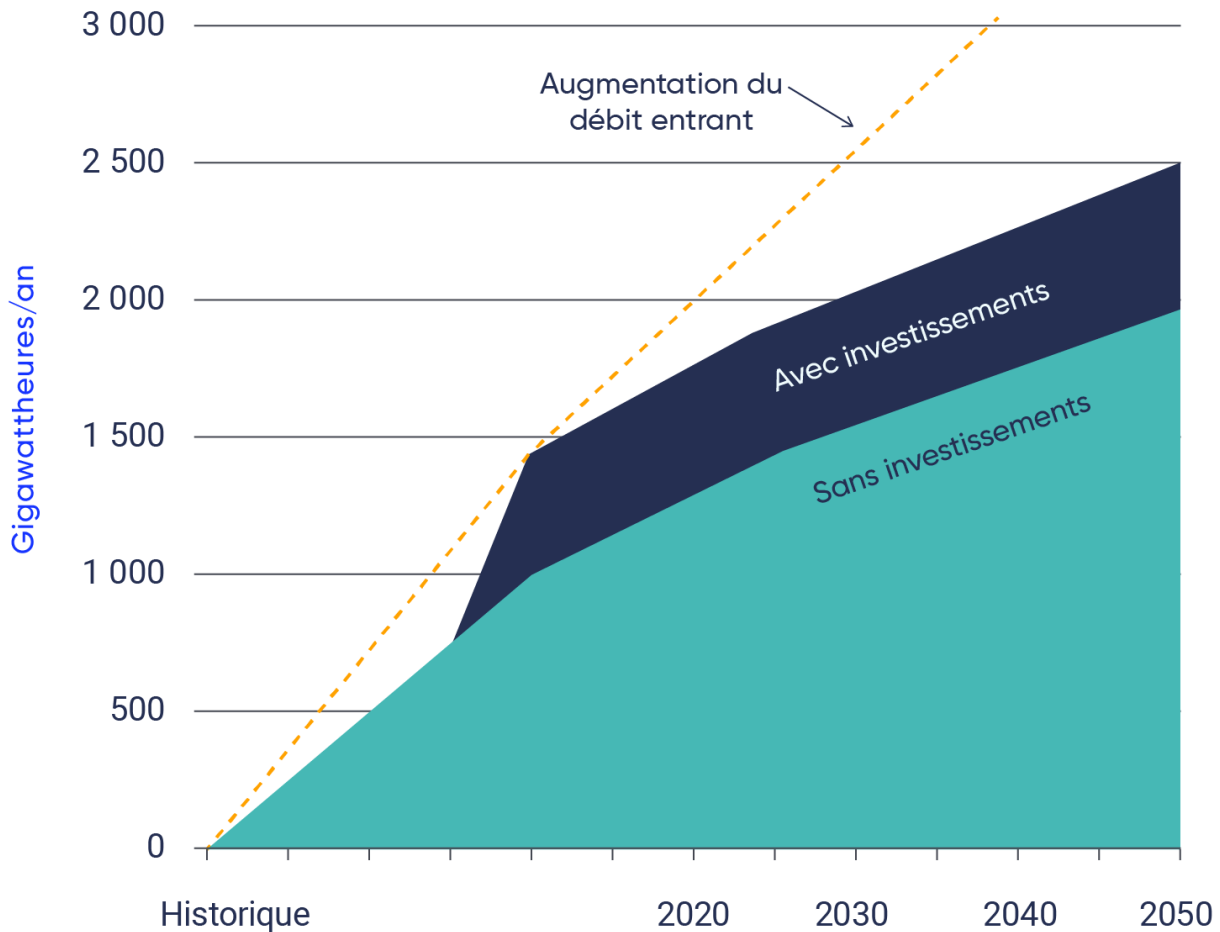


Figure 7.13 : Augmentation potentielle de la production d'hydroélectricité en Islande en raison de l'augmentation du ruissellement due aux changements climatiques et investissements supplémentaires dans les infrastructures. Source : Adapté de Sveinsson, 2015.

Les nouvelles technologies sont un outil essentiel pour l'adaptation aux changements climatiques dans le Secteur de l'énergie. Le sixième forum de l'Agence internationale de l'énergie sur le lien entre le climat et la sécurité énergétique a défini « l'innovation technologique » comme un domaine prioritaire pour faire progresser la résilience du secteur énergétique aux changements climatiques en Amérique du Nord (Agence internationale de l'énergie, 2016b). Si les technologies des énergies renouvelables décentralisées ont été largement développées par la demande de sources d'énergie à faibles émissions, elles assurent également une redondance qui peut créer des sous-systèmes de production et de distribution d'énergie dans le cas où d'autres parties du réseau seraient perturbées (American Council on Renewable Energy, 2018; Institut international du développement durable, 2017; Department of Energy des États-Unis, 2016; Agence

internationale de l'énergie, 2015). Il a été prouvé que les technologies de réseau intelligent, notamment la production d'énergie renouvelable, les compteurs intelligents, les appareils intelligents et la production automatique d'électricité, améliorent la reprise après des phénomènes météorologiques extrêmes, comme aux États-Unis avec les ouragans Irene (2011) et Sandy (2012) (Institut international du développement durable, 2017; Executive Office of the President, 2013). Pour la production thermique, de nouvelles technologies de refroidissement à sec sont mises en œuvre pour réduire la vulnérabilité aux changements de température et diminuer la dépendance aux sources d'eau pour le refroidissement (Braun and Fournier, 2016).

7.6.4 Aller de l'avant

Une sensibilisation accrue est une première étape essentielle dans le développement d'un secteur de l'énergie résistant aux changements climatiques qui peut garantir la sécurité énergétique future et un service fiable pour les Canadiens et Canadiennes. Des études de cas détaillées sur les impacts prévus et les réponses réelles ou proposées des entreprises sont un outil précieux pour cette sensibilisation (Braun et Fournier, 2016). Les interventions doivent être faisables, économiquement viables et pouvoir être mises en œuvre dans des délais raisonnables. Des interventions rentables et bénéfiques peuvent être intégrées aux activités commerciales existantes, par exemple en abordant les changements climatiques comme faisant partie intégrante des évaluations d'impacts environnementaux, comme cela est exigé pour les projets faisant l'objet d'une évaluation d'impact fédérale (Environnement et Changement climatique Canada, 2020).

Des fournisseurs d'énergie proactifs au Canada et à l'étranger ont créé des comités internes d'expertise et sur les changements climatiques. Ces comités collaborent avec des chercheurs et des centres sur les changements climatiques afin de comprendre, de produire et d'utiliser les données climatiques pour établir des seuils opérationnels sensibles aux changements climatiques. L'engagement de gestionnaires d'actifs peut être une composante importante d'une approche holistique et intégrée, fondée sur les risques, pour la planification énergétique, tout comme un suivi et une évaluation solides. Le partage des études de cas d'adaptation entre les entreprises est un autre moyen de faire progresser la résilience climatique dans le Secteur de l'énergie.

7.7 Les phénomènes climatiques extrêmes ont un impact sur les transports, perturbant les chaînes d'approvisionnement

Les transports routiers, ferroviaires, maritimes et aériens au Canada sont vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux changements climatiques à évolution lente, les perturbations majeures ayant des répercussions économiques et sociales importantes. Pour évaluer pleinement ces répercussions, il faut tenir compte des liens entre les différents systèmes de transport, et entre les modes de transport et un large éventail d'autres secteurs économiques. La coordination des mesures d'adaptation entre les compétences et les secteurs profitera aux propriétaires et aux exploitants de moyens de transport ainsi qu'aux personnes qui dépendent des chaînes et des corridors d'approvisionnement vulnérables.

Le Canada compte sur une infrastructure et des services de transport efficaces, sûrs et fiables qui permettent la circulation des biens, des services et des personnes dans tout le pays. Les initiatives actuelles d'évaluation des risques climatiques et d'adaptation dans le secteur des transports ont tendance à se concentrer sur les impacts climatiques individuels et directs associés aux infrastructures aériennes, routières, ferroviaires ou maritimes et à d'autres actifs. Cette approche sous-estime les risques et impacts potentiels en chaîne des actifs ou des réseaux environnants, et vice versa. Analyser comment les différents éléments du transport dépendent les uns des autres, et comment le transport est lié à un large éventail d'autres secteurs peut aider à définir les possibilités de collaboration et de rentabilité, et peut prévenir les situations dans lesquelles les mesures prises pour atténuer des risques individuels ou spécifiques augmentent par inadvertance la vulnérabilité climatique des autres.

7.7.1 Introduction

Un secteur des transports efficace relie les personnes et les collectivités, les produits, les ressources et les services aux marchés nationaux et internationaux (Palko, 2017). Au Canada, les responsabilités en matière de transport sont partagées entre différents paliers de gouvernement, les intervenants du secteur privé jouant un rôle important en tant que propriétaires, exploitants et gestionnaires des infrastructures et des biens, notamment en ce qui concerne les infrastructures ferroviaires, les véhicules, les navires et les avions (Andrey et Palko, 2017). L'infrastructure de transport du Canada est principalement concentrée dans la partie sud du pays, où ont lieu la plupart des échanges commerciaux et des transports (voir la figure 7.14). Cependant, les systèmes de transport du Grand Nord sont particulièrement sensibles aux changements climatiques et sont déjà touchés par la fonte du pergélisol, la réduction de la couverture de glace fluviale, lacustre et marine, et l'augmentation de l'érosion côtière et des inondations dues aux ondes de tempête (Palko, 2017; Hori et coll., 2017).

Réseau national d'aéroports



Réseau routier national



Administrations portuaires canadiennes



Réseau ferroviaire national



Figure 7.14 : Mappe des systèmes de transport nationaux du Canada montrant le réseau national d'aéroports, le réseau routier national, les administrations portuaires du Canada, et le réseau ferroviaire national. Source : Adapté de Transports Canada, 2017.

Un rapport complet, basé sur les régions, sur les impacts des changements climatiques et les mesures d'adaptation au Canada a été publié en 2017 (Palko et Lemmen, 2017). Voici quelques-unes de ses principales conclusions :

- L'infrastructure des transports du Canada est vulnérable aux dommages et aux perturbations causés par les changements climatiques et les phénomènes météorologiques extrêmes, ce qui peut présenter des risques pour d'autres secteurs de l'économie;
- Les systèmes de transport du Grand Nord subissent certains des impacts les plus importants du réchauffement, et les températures dans le Nord continueront d'augmenter à un rythme plus rapide que dans toute autre région du Canada;
- Bien que les approches réactives pour gérer les risques climatiques restent courantes dans le secteur des transports au Canada, des exemples d'adaptation en prévision des conditions climatiques futures se retrouvent dans toutes les régions et pour tous les modes de transport.

Cette section termine le rapport intitulé [Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016](#) (Palko et Lemmen, 2017), en examinant les interconnexions qui existent au sein des systèmes de transport intermodal et dans un large éventail de secteurs. Il s'inspire de la littérature canadienne et internationale, et se concentre principalement sur l'infrastructure matérielle.

7.7.2 Impacts climatiques sur les systèmes de transport

Les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques touchent déjà les infrastructures, les opérations, les systèmes et les services de transport à travers tous les modes et dans toutes les régions du Canada (Palko, 2017); il convient de noter que les changements climatiques ont déjà augmenté la probabilité de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes (Zhang et coll., 2019). Dans certains cas, ces impacts ont entraîné des perturbations des voyages et des conditions dangereuses, nuisant à la circulation des marchandises et des personnes, et entraînant une augmentation des coûts d'exploitation, une réduction des revenus ou une compensation pour les interruptions de service.

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent entraîner des coûts importants et accélérer la détérioration des infrastructures de transport, réduisant ainsi leur durée de vie (Boyle et coll., 2013). Par exemple, une pluie torrentielle à Toronto en 2013 a entraîné des inondations qui ont provoqué des fermetures de routes, des retards et des annulations de vols, et bloqué 1 400 voyageurs en train. Les dommages ont été estimés à 999,5 millions de dollars (Amec Foster Wheeler Environment Infrastructure, 2017). Au cours de la même année, les inondations dans le sud de l'Alberta ont causé 6 milliards de dollars de dommages, emportant 1 000 km de routes et détruisant plusieurs centaines de ponts et de ponceaux (Andrey et Palko, 2017). En 2017 et 2018, la ligne ferroviaire de Churchill a été fermée pendant 18 mois (CTV, 2018) en raison des effets cumulés des inondations et de la dégradation du pergélisol sous la ligne ferroviaire. Sans un mode de transport de rechange viable pour faire entrer les approvisionnements et expédier les marchandises, les frais de subsistance ont augmenté et l'accès aux services essentiels, y compris les services médicaux situés dans les collectivités plus au sud, a été entravé (The Globe and Mail, 2018).

7.7.3 Comprendre les interdépendances

Les secteurs et systèmes d'infrastructure, notamment les transports, l'énergie, les télécommunications, l'approvisionnement en eau, le traitement des eaux usées, la gestion des déchets solides et les bâtiments, sont « fortement interdépendants les uns des autres, comportant de multiples connexions, des liens de rétroaction et d'anticipation et des ramifications complexes » (Sudhalkar et coll., 2017, p. 3).

Les exemples d'interdépendances majeures dans les systèmes de transport comprennent les situations où deux secteurs sont essentiels l'un pour l'autre (p. ex., le transport et l'énergie), et où la technologie sert à renforcer les connexions entre les infrastructures, comme les signaux ferroviaires et les systèmes de contrôle du trafic contrôlés par des systèmes informatiques qui dépendent des réseaux électriques (Sudhalkar et coll., 2017). Les réseaux d'infrastructure contenant une ou plusieurs de ces caractéristiques « sont plus exposés aux risques de défaillance dus à des chocs ou à des contraintes externes, y compris les risques climatiques » (Sudhalkar et coll., 2017, p. 3). Les évaluations des risques liés aux changements climatiques qui ne tiennent pas compte de ces interconnexions pourraient conduire à une mauvaise évaluation des risques (Dawson, 2015).

Dans le secteur canadien des transports, les modes de transport (p. ex., ferroviaire, maritime, aérien et routier) sont souvent interconnectés (intermodaux) au sein des chaînes d'approvisionnement et à travers les points de passage et les corridors de transport. Les infrastructures et les installations portuaires, par exemple, constituent une plate-forme centrale pour le transport, la logistique et les chaînes d'approvisionnement, et sont des points de convergence clés pour les infrastructures maritimes, ferroviaires et routières afin de faciliter la circulation des marchandises nationales et étrangères (Becker et coll., 2018).

Les perturbations et les retards dans les chaînes d'approvisionnement nationales et internationales, y compris ceux causés par des phénomènes météorologiques, peuvent se propager à travers les réseaux avec des impacts sociaux et économiques néfastes (Becker et coll., 2018; Allen et coll., 2016; Zorn et coll., 2016). C'est ainsi que les faiblesses d'un mode de transport ou d'un secteur peuvent se répercuter sur d'autres.

7.7.4 Adaptation

Partout au Canada, les propriétaires et les exploitants d'actifs de transport entreprennent des actions pour prendre en compte leurs risques climatiques et renforcer leur résilience, souvent de manière indépendante (Kwiatkowski, 2017). Les mandats, les priorités, les sensibilités commerciales et les ressources distincts des nombreux intervenants du secteur créent des défis de gouvernance et des obstacles à l'action (Sudhalkar et coll., 2017). En l'absence de stratégies d'adaptation globales, les investissements individuels visant l'adaptation seront d'une efficacité limitée et pourraient avoir des conséquences négatives inattendues et non voulues sur les actifs et les systèmes voisins ou interdépendants (Kwiatkowski, 2017). Par exemple, la ville de Toronto a entrepris une évaluation de haut niveau des risques climatiques et des interdépendances pour les infrastructures essentielles et a constaté que les intervenants n'avaient pas une connaissance suffisante des impacts de leurs activités sur d'autres systèmes interdépendants, et qu'il était nécessaire de mettre en place des rôles et des responsabilités pour faire face aux risques communs (Sudhalkar et coll., 2017).

Les défis de l'adaptation résultent de nombreuses causes, notamment le fait que de nombreux actifs de transport ont un long cycle de vie, ce qui nécessite une longue planification et conception, alors que le développement et le remplacement technologiques dans des domaines tels que les technologies de l'information et de la communication se font très rapidement, ce qui entraîne des horizons de planification mal adaptés et des problèmes de délais possibles (Man, 2013; Dewar et Wachs, 2008; Finley et Schuchard, s.d.). Des occasions se présentent lorsque la planification des transports est capable de surmonter de tels défis et de faciliter une large collaboration et un engagement entre les secteurs et les compétences. Il s'agit notamment d'établir rapidement les multiples avantages et les solutions envisageables (Man, 2013), ce qui peut être particulièrement important dans les zones d'utilisation partagée des terres (Department of Environment, Food and Rural Affairs, 2011); de mieux comprendre les interdépendances entre les multiples propriétaires d'infrastructures; et d'accroître l'innovation et l'efficacité tout au long de la chaîne d'approvisionnement (Dubois et coll., 2011).

Des outils ont été développés pour aider les planificateurs à prendre en compte les risques associés aux interdépendances. Un exemple développé en Australie permet une analyse systémique des risques climatiques pour les organisations, ainsi que des interdépendances en amont et en aval (Cross Dependency Initiative, 2019). Les résultats peuvent démontrer quels risques causés par un tiers peuvent affecter le système d'une organisation, ainsi que les conséquences de leurs propres risques de défaillance sur d'autres infrastructures essentielles, et peuvent faciliter les mesures d'adaptation collaboratives (Cross Dependency Initiative, 2019).

L'étude de cas 7.8 fournit un exemple de la façon dont les intervenants se sont réunis pour étudier collectivement les interdépendances avec le transport, ainsi que les risques liés aux changements climatiques pour les infrastructures et les opérations, à Surrey, en Colombie-Britannique.

Étude de cas 7.8 : Faire face à l'augmentation des risques d'inondation à Surrey, en Colombie-Britannique

Le contrôle des inondations à Surrey, en Colombie-Britannique, a été initialement développé à la fin des années 1800. L'élévation prévue du niveau de la mer augmente les risques d'une inondation majeure, affectant non seulement les habitants de Surrey, mais aussi l'économie régionale et nationale (Ville de Surrey, 2018). Les risques d'inondation comprennent l'inondation d'un réseau d'infrastructures régionales (notamment les conduites d'eau et d'égout, les routes et les autoroutes desservant 200 000 trajets quotidiens de véhicules à travers la plaine inondable), et des infrastructures vertes fournissant des services écosystémiques essentiels (comme les marais salants et les zones humides). Les activités économiques d'importance nationale exposées au risque d'inondation côtière comprennent :

- Des corridors de transport desservant près de 10 millions de passagers par an entre le Canada et les États-Unis (Bureau of Transportation Statistics, 2018);

- Trois milliards de dollars par an pour le transport de marchandises le long du couloir ferroviaire de Roberts Bank et du chemin de fer BNSF (reliant les installations du port de Vancouver au Canada et aux États-Unis, respectivement); et
- le raccordement principal de BC Hydro à la Bonneville Power Authority dans l'État de Washington.

Afin de gérer les risques climatiques croissants, la ville de Surrey a adopté une approche ascendante impliquant de multiples propriétaires d'actifs dans tous les secteurs d'infrastructure pour évaluer conjointement le risque partagé d'inondation côtière (Associated Engineering Limited, 2018). Les échanges entre les propriétaires d'actifs, les exploitants et les services d'urgence desservant la région ont été fructueux grâce à un voyage d'étude qui a permis aux participants de voir et d'entendre parler des principales interdépendances des infrastructures. L'infrastructure est complexe, et les diverses organisations font face à différents défis opérationnels et les équilibrent avec des modernisations des installations à long terme, et ce, de différentes manières, en fonction de leur tolérance au risque et des ressources disponibles.

Une vision commune des risques climatiques a été développée en appliquant le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques, s.d.) d'Ingénieurs Canada. Ceci comprenait une évaluation fondée sur trois résultats pour définir les facteurs sociaux, environnementaux et économiques que les propriétaires partagent. Étant donné les avantages que présente cette évaluation, le financement par le Programme Municipalités pour l'Innovation climatique était essentiel pour favoriser une collaboration préalable qui, autrement, aurait pu être limitée si des négociations sur le partage des coûts avaient été nécessaires. Même si les effets sur la prise de décision ont varié d'une organisation à l'autre, la perception positive du public a été une préoccupation majeure pour de nombreux propriétaires d'actifs (Associated Engineering Limited, 2018).

La prochaine étape consistera à élaborer un cadre à long terme que les propriétaires d'actifs devront suivre pour gérer le risque croissant d'inondation côtière dû à l'élévation du niveau de la mer, et pour mieux coordonner les investissements grâce aux possibilités de renouvellement des infrastructures et élaborer des solutions qui ne font que des gagnants (Associated Engineering Limited, 2018). Les principaux aspects du cadre consisteront à formaliser les moyens appropriés pour résoudre les interdépendances géographiques et physiques de chaque propriétaire d'infrastructure, et à suivre les progrès réalisés dans la gestion des risques climatiques au fil du temps.

Dans certains cas, cela n'implique qu'un seul propriétaire d'actifs. Par exemple, dans la ville de Surrey, les services de l'ingénierie et des parcs, des loisirs et de la culture travaillent ensemble pour s'adapter à la montée des eaux, qui a des répercussions sur une voie de transport essentielle et des espaces verts. Les interdépendances permettent de bénéficier du Fonds fédéral d'atténuation et d'adaptation aux catastrophes, alors que traiter les biens individuels de manière isolée ne répond pas aux exigences de financement fédéral. Une approche d'adaptation interministérielle, qui a été mise au point, intègre une structure de contrôle des inondations en remplaçant un pont et en aménageant un parc en bordure de la rivière. La coordination de ces mesures permettra de réduire le coût total en capitaux, d'augmenter le partage des coûts, d'accélérer l'adaptation et d'accroître le soutien du public en procurant des avantages immédiats à la collectivité, en plus de réduire les risques à long terme.

La gestion et le renouvellement des actifs offrent également la possibilité de réduire de manière proactive l'exposition aux risques. La ville de Surrey utilise des cycles de renouvellement standard pour adapter les infrastructures majeures afin de faire face aux impacts climatiques prévus pendant leur durée de vie. Par exemple, l'infrastructure de Mud Bay (voir la figure 7.15) est desservie par une station de pompage des eaux usées en fin de vie fonctionnelle, et la station de remplacement a été conçue pour résister à de multiples dangers, notamment l'élévation du niveau des eaux, les séismes et les affaissements du sol. De plus, la digue de contrôle des inondations sera considérablement surélevée. Afin de s'adapter à l'élévation du niveau de la mer, il faut tenir compte des interdépendances géographiques et physiques, notamment les suivantes (voir la figure 7.15) :

1. un viaduc provincial qui doit être surélevé pour maintenir la déclivité de la voie ferrée et préserver la zone de dégagement de la voie ferrée; et
2. le chemin de fer américain de classe 1, réglementé au palier fédéral, qui doit être surélevé pour accueillir une crête de digue plus élevée destinée à protéger l'infrastructure et à éviter un point faible.

En définitive, les adaptations du système de transport n'ont pas été simplement déterminées par les risques physiques directs pour les routes et les chemins de fer, mais ont été réalisées grâce à une approche coordonnée visant à renforcer la résilience dans de multiples secteurs. Cette approche a permis des mesures qui répondent aux besoins de chaque secteur établis grâce à un processus participatif et collaboratif.

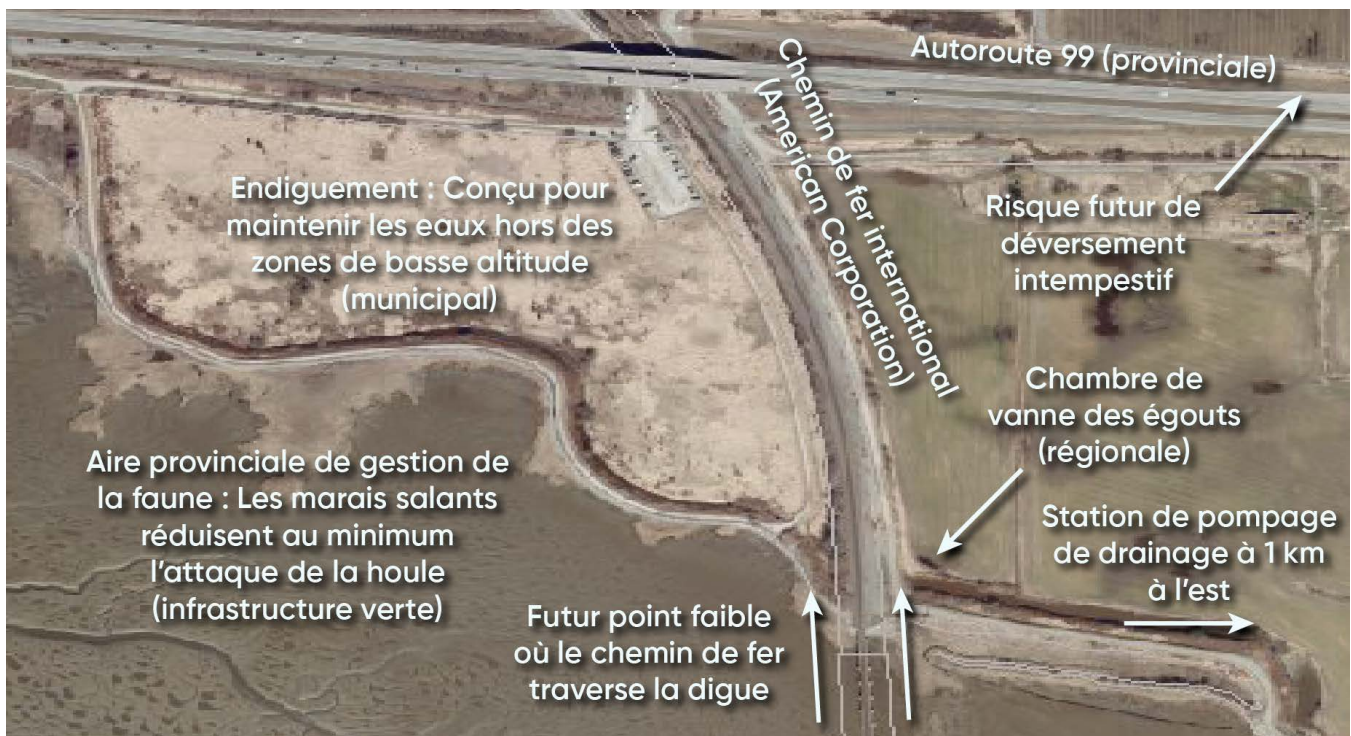


Figure 7.15 : Infrastructure interconnectée à Mud Bay, Surrey, C.-B., soulignant la nécessité d'approches coordonnées pour faire face aux risques présentés par l'élévation du niveau de la mer et d'autres dangers. Source : Adapté de la Ville de Surrey, 2018.

7.7.5 Aller de l'avant

Un climat en changement et des phénomènes météorologiques extrêmes continuent de poser des défis au secteur des transports du Canada. Il existe une série d'interdépendances au sein du secteur (entre les modes de transport) et entre les secteurs. Si l'on ne tient pas compte des interdépendances et des risques connexes, les investissements individuels visant à améliorer la résilience climatique seront d'une efficacité limitée ou auront des conséquences inattendues ou imprévues. Les approches collaboratives peuvent aider les propriétaires et les opérateurs d'actifs à mieux comprendre les risques et à déterminer des solutions d'adaptation qui répondent à de multiples domaines de risque et les recourent. Il existe des exemples pratiques, notamment le cas de la ville de Surrey (voir l'étude de cas 7.8), qui démontrent les multiples avantages qui découlent de tels partenariats, la confiance et une planification plus éclairée.

7.8 Les changements climatiques entraînent des changements transformationnels dans le tourisme

Toutes les destinations touristiques doivent s'adapter aux impacts des changements climatiques sur les actifs touristiques ainsi qu'à la baisse de compétitivité au sein d'une économie touristique fortement interconnectée. Alors que la compétitivité du tourisme canadien devrait augmenter en raison des changements climatiques, les implications précises de ce changement sur le marché et dans les régions pour la compétitivité nationale restent insuffisamment étudiées. Le tourisme et les loisirs d'hiver et du Nord sont particulièrement sensibles à la variabilité du climat, et des changements transformationnels sont attendus dans le tourisme de ski, de motoneige et de croisière en Arctique.

Le tourisme est le plus grand secteur de services du Canada. Les changements climatiques influencent les activités touristiques, les investissements et les habitudes de voyage au Canada, ce qui exige une adaptation de la part de toutes les destinations touristiques. De nombreux risques et certaines occasions se multiplieront progressivement au cours de ce siècle, ce qui entraînera des déplacements géographiques afin de permettre aux marchés du tourisme saisonnier et axé sur la nature de prospérer. Les premiers impacts ont été visibles sur les marchés du tourisme d'hiver, où la diminution des conditions de neige et de glace affecte la viabilité des industries touristiques de plusieurs milliards de dollars à travers le Canada, dont une grande partie est concentrée dans les petites collectivités rurales. L'industrie du ski a investi des centaines de millions de dollars dans la fabrication de neige, ce qui lui donne une capacité substantielle d'adaptation au réchauffement futur et à la baisse des chutes de neige naturelles dans certains endroits. Les scénarios de réchauffement plus élevé dépasseront les limites techniques de l'adaptation de la fabrication de neige dans de nombreux endroits. L'industrie de la motoneige est très vulnérable aux mêmes changements, car la fabrication de neige n'est pas techniquement ou économiquement viable pour des milliers de kilomètres de pistes, et les traverses de glace deviendront de plus en plus dangereuses. La fonte des glaciers et la réduction de la glace marine changent les attractions touristiques, des parcs nationaux des montagnes Rocheuses en tourisme de croisière dans

l'archipel arctique canadien, en passant par les ours polaires. Les touristes, les exploitants du tourisme et les collectivités de destination s'adaptent à ces divers risques et possibilités climatiques, ce qui a parfois des conséquences imprévues pour les organismes gouvernementaux non touristiques (p. ex., recherche et sauvetage), les collectivités (p. ex., surtourisme) et l'expérience des visiteurs.

7.8.1 Introduction

Les changements climatiques présentent divers risques et possibilités pour le tourisme national et international au Canada (Scott et coll., 2020; Hewer et Gough, 2018; Scott et coll., 2012). Les changements climatiques influencent déjà les exploitations touristiques, les investissements et les modèles de voyage, de sorte que toutes les destinations touristiques devront s'adapter aux impacts sur les atouts touristiques locaux, ainsi qu'à la baisse de la compétitivité au sein de l'économie touristique internationale fortement interconnectée (Scott et coll., 2020, 2016). À l'échelle mondiale, les scénarios de fortes émissions sont largement considérés comme étant incompatibles avec la croissance prévue du tourisme (Scott et coll., 2019; GIEC, 2018). D'après les diverses analyses des multiples impacts des changements climatiques sur le secteur du tourisme, la compétitivité internationale du tourisme canadien devrait s'améliorer (Scott et coll., 2019; Roson et Sartori, 2016; Organisation de coopération et de développement économiques, 2015). Les répercussions des changements du caractère saisonnier, des paysages (p. ex., les plages, les niveaux d'eau), de la biodiversité, des phénomènes extrêmes (p. ex., les vagues de chaleur, les feux de forêt) et des marchés transnationaux ont des implications de grande portée, mais encore peu étudiées, pour le développement et la compétitivité du tourisme, les modes de déplacement et les moyens de subsistance.

Kovacs et Thistlethwaite (2014) ont donné un aperçu des grands impacts climatiques et des mesures d'adaptation dans l'industrie canadienne du tourisme, notamment en discutant des implications pour le système des parcs, les loisirs par temps chaud et froid et le tourisme axé sur la nature. Tout en notant des exemples d'efforts de planification avancée de l'adaptation, cette étude a conclu que le niveau de préparation du secteur du tourisme pour faire face aux changements climatiques était faible, ce qui est conforme aux évaluations de l'état de préparation du secteur au niveau mondial (Becken et coll., 2020; Scott et coll., 2016). Les changements climatiques présentent également des possibilités émergentes pour certains marchés du tourisme, qui devraient également s'adapter afin de réaliser des bénéfices économiques potentiels, de maintenir les atouts touristiques et de maintenir l'expérience des visiteurs.

Cette section s'appuie sur les conclusions de Kovacs et Thistlethwaite (2014) en se concentrant sur les marchés qui dépendent de la neige et de la glace comme le tourisme de ski, de motoneige et de croisière en Arctique, car c'est là que les impacts des changements climatiques se font sentir en premier et que l'adaptation de l'industrie du tourisme et des investisseurs est en cours. Les détails des changements observés et prévus de la couverture de neige et de glace (notamment la glace de mer, de lac et de rivière, les glaciers et le pergélisol) sont présentés dans [le chapitre 5 du Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Derksen et coll., 2019).

7.8.2 Tourisme des sports d'hiver

L'industrie du ski en Amérique du Nord a investi des centaines de millions de dollars dans la fabrication de neige au cours des 30 dernières années afin de réduire sa sensibilité aux changements climatiques. Alors que les températures hivernales moyennes ont continué à augmenter, la durée des saisons de ski s'est allongée tout au long des années 1980, 1990 et 2000 sur les cinq marchés régionaux du ski aux États-Unis (Scott et Steiger, 2013). Ce n'est que dans les années 2010 que cette tendance s'est inversée, ce qui laisse à penser que les capacités avancées de fabrication de neige pourraient ne plus être en mesure de compenser le réchauffement hivernal. Les récents records de chaleur hivernale, qui sont des indicateurs des conditions hivernales normales à venir, donnent un aperçu important de la manière dont l'industrie du ski et les touristes de ski s'adaptent. Au cours de l'hiver chaud record de 2011–2012, le marché du ski en Ontario a connu une diminution moyenne de la durée de la saison de ski (-17 %) et du terrain skiable (-9 %), une baisse de la qualité de la neige (-46 % de jours de poudreuse), une diminution du nombre de jours de fabrication de neige (-18 %) et une augmentation de la fabrication de neige en début de saison (+300 % en décembre), ainsi qu'une diminution de 10 % de l'ensemble des visites de skieurs, par rapport à un hiver climatique normal pour la période 1981–2010 (Rutty et coll., 2017). Des impacts similaires sur la durée de la saison et la fréquentation ont été observés sur le marché québécois, les visites des skieurs ayant diminué de 12,5 % au cours de l'hiver chaud record de 2015–2016 (Association des Stations de Ski du Québec, 2016).

Les différences d'exposition au risque des changements climatiques entre les destinations de ski ont des implications importantes pour la compétitivité des marchés intra et interrégionaux et les déplacements géographiques du tourisme de ski. Une comparaison des impacts des changements climatiques sur les saisons de ski dans les stations de ski de l'Ontario, du Québec et du nord-est des États-Unis a mis en évidence différents scénarios pour ces marchés régionaux pour les années 2050 et 2080 (voir la figure 7.16). Les stations de ski du Québec et les sites de haute altitude du Vermont et du New Hampshire sont plus résilients aux changements climatiques que ceux de l'Ontario et les sites de basse altitude ou de latitude plus basse du nord-est des États-Unis (Scott et coll., 2020). L'analyse de trois stations de ski au Québec prévoyait des pertes saisonnières presque identiques de 10 à 20 jours dans les années 2050, et une réduction prévue de 10 % des visites de skieurs (Da Silva et coll., 2019). D'importantes lacunes subsistent, notamment en ce qui concerne les plus grands marchés du tourisme lié au ski au Canada (Colombie-Britannique et Alberta) et les implications des différents impacts sur la dynamique du marché, le tourisme et l'emploi au sein des collectivités, les pressions de développement et la valeur des biens immobiliers (Scott et coll., 2017; Rutty et coll., 2015).

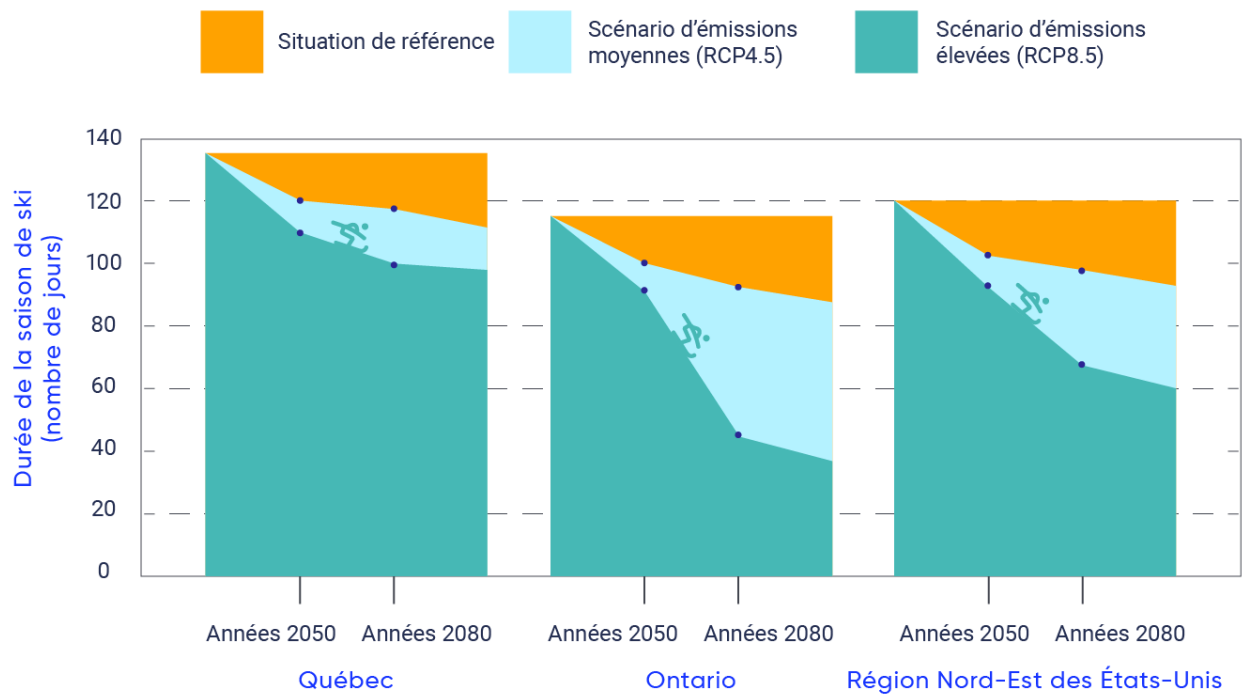


Figure 7.16 : Comparaison de l'évolution de la durée de la saison de ski sur les marchés de l'Ontario, du Québec et de la Nouvelle-Angleterre avec une capacité de fabrication de neige avancée dans le cadre de scénarios à émissions moyennes (RCP4.5) et à émissions élevées (RCP8.5) pour les années 2050 et 2080. La situation de référence correspond à la période 1981–2010. Source : Adapté de Scott et coll., 2020.

Des études sur l'impact des réductions actuelles et prévues de la neige de la saison hivernale sur l'industrie de la motoneige en Amérique du Nord montrent que si les motoneigistes s'adaptent aux conditions changeantes, la détérioration continue de la durée de la saison entraînera une perte de ce marché touristique dans de nombreuses régions des États-Unis et du Canada (Perry et coll., 2018; Hatchett et Eisen, 2018; Tercek et Rodman, 2016; McBoyle et coll., 2007). Selon le scénario de fortes émissions prévu pour les années 2050, les régions de l'Ontario et du Québec, où le réseau de pistes de motoneige est le plus dense, ne connaîtront pratiquement plus de saisons régulières de motoneige (McBoyle et coll., 2007). Une baisse de 20 % des motoneiges immatriculées au Canada entre 1995 et 2015 (données de l'Association internationale des fabricants de motoneiges) indique peut-être une adaptation aux changements climatiques par les personnes ce qui entraînera des changements dans ce marché touristique. Bombardier Produits récréatifs (2017) a informé les investisseurs que les changements climatiques mondiaux pourraient avoir un impact plus important que prévu sur les ventes futures de motoneiges. Le passage aux véhicules tout-terrain n'est pas considéré comme une stratégie d'adaptation réalisable, car ces véhicules ont tendance à avoir un impact plus important sur la surface des sentiers, empêchant le partage des réseaux de sentiers et l'accès des autres utilisateurs aux parcs et aux terres agricoles (Perry et coll., 2018; McBoyle et coll., 2007).

7.8.3. Tourisme de croisière dans l'Arctique

La diminution de la couverture de glace de mer en été a permis un meilleur accès maritime aux terres, aux paysages marins et aux cultures majestueuses de l'Arctique canadien (voir le chapitre « Nord du Canada »). Cela a permis l'accès à des zones et à des collectivités qui étaient auparavant inaccessibles aux bateaux de touristes. Les exploitants d'entreprises touristiques et les touristes se sont rapidement adaptés à ces nouvelles possibilités, avec une forte croissance de la circulation des navires commerciaux (bateaux de croisière) et non commerciaux (yachts privés) depuis la fin des années 2000 (Dawson et coll., 2018; Johnston et coll., 2017). Bien que le développement du tourisme soit considéré comme hautement stratégique par les gouvernements de l'ensemble de l'Arctique (Dawson et coll., 2017), il existe des préoccupations liées aux infrastructures nécessaires pour accueillir le nombre croissant de touristes, aux impacts environnementaux, aux opportunités économiques inégales, aux impacts sociaux et culturels locaux négatifs et à la capacité limitée de recherche et de sauvetage (Dawson et coll., 2018; Stewart et coll., 2011). Des cartes hydrographiques limitées et des conditions de glace changeantes augmentent le risque d'un incident à fort impact impliquant un navire de croisière (Dawson et coll., 2016). Même des incidents relativement mineurs peuvent être associés à des coûts élevés (voir l'étude de cas 7.9). Une adaptation multisectorielle intégrée est essentielle pour répondre à ces défis et soutenir le tourisme durable dans l'Arctique canadien.

Étude de cas 7.9 : Les coûts de l'accroissement de la circulation des navires de tourisme dans l'Arctique canadien

La circulation touristique non réglementée des navires de croisière et des bateaux de plaisance (yachts) a augmenté régulièrement dans l'Arctique canadien en raison de l'évolution des conditions de glace (voir la figure 7.17; Dawson et coll., 2018). Cette réaction des exploitants d'entreprises touristiques et des touristes a suscité des inquiétudes quant à la capacité potentielle de recherche et de sauvetage pour répondre à un incident à haut risque, tel que le naufrage d'un navire de croisière. L'échouement de l'*Akademik Ioffe* près de Kugaaruk, au Nunavut, en août 2018, a révélé les coûts élevés de la recherche et du sauvetage, même pour un incident mineur impliquant un bateau de tourisme. Les Forces canadiennes ont dépensé plus de 500 000 dollars pour fournir une aide, tandis que le coût lié à l'intervention de deux brise-glaces n'a pas été communiqué par la Garde côtière canadienne (Toth, 2018). L'investissement dans l'amélioration des cartes de navigation sur les routes maritimes communes et les exigences en matière d'assurance pour indemniser les coûts de recherche et de sauvetage ont été établis comme des réponses d'adaptation possibles pour réduire les risques sécuritaires et financiers.



Figure 7.17 : Le navire de croisière Hanseatic arrivant à Pond Inlet, NU, vers 2005. Photo gracieuseté de Emma J. Stewart, Université de Lincoln.

7.8.4 Tourisme de « dernière chance »

Certaines données confirment l'émergence d'une tendance du tourisme de « dernière chance ». Il s'agit des voyages effectués par les touristes pour visiter des sites avant que leurs attractions ne disparaissent ou ne soient irrémédiablement dégradées, ou pour assister à l'impact des changements de paysage induits par le climat, comme la fonte rapide des glaciers ou les modifications de la biodiversité (Lemelin et coll., 2010). Des études de marché auprès des touristes sur les parcs des montagnes Rocheuses du Canada et à Churchill (Manitoba), la capitale mondiale autoproclamée de l'ours polaire, révèlent des motivations de dernière chance chez un segment de voyageurs, ce qui laisse entrevoir des possibilités à court et à moyen terme d'accroître la fréquentation, ainsi que d'organiser des activités éducatives et interprétatives pour les visiteurs (Weber et coll., 2019; Groulx et coll., 2017; Lemieux et coll., 2017; Groulx et coll., 2016; Dawson et coll., 2010). Il reste d'importantes incertitudes liées aux réactions à long terme des touristes face à la dégradation des atouts touristiques. Par exemple, alors que les touristes ont indiqué leur motivation et leur intention de visiter

les parcs des montagnes Rocheuses ou Churchill, le nombre de touristes diminuerait si les glaciers et les populations d'ours polaires étaient fortement touchés, et il n'est pas certain que les générations futures de touristes n'ayant aucune expérience ou attente des attractions écotouristiques actuelles réagiraient de la même manière (Scott et coll., 2007).

7.8.5 Aller de l'avant

Le tourisme est le secteur de services principal du Canada et devrait devenir plus compétitif sur le marché mondial en raison des changements climatiques (Scott et coll., 2019; Roson et Sartori, 2016; Organisation de coopération et de développement économiques, 2015). La documentation actuelle est insuffisante pour déterminer l'impact économique net des scénarios à faibles et fortes émissions sur les marchés touristiques infranationaux. L'essentiel de l'adaptation dans le secteur consiste à faire face aux risques d'exploitation actuels et aux nouveaux débouchés du marché. L'un des principaux obstacles à la planification stratégique de l'adaptation à long terme réside dans l'absence d'évaluations sectorielles intégrées qui prennent en compte toute la gamme des impacts potentiellement aggravants à l'échelle du pays et de la destination, ainsi que leurs interactions avec les autres principaux vecteurs du tourisme. Le tourisme ne fait partie d'aucun document majeur de politique climatique nationale au Canada, et il n'y a pas non plus de réponse aux changements climatiques dans les stratégies touristiques nationales et la plupart des stratégies infranationales (Becken et coll., 2020). L'adaptation est souvent limitée à l'échelle de l'entreprise, avec des exemples limités de planification coordonnée de l'adaptation à l'échelle de la destination (p. ex., la municipalité de villégiature de Whistler, 2016).

7.9 Une participation accrue du secteur privé accélérera l'adaptation dans tous les secteurs

Malgré une prise de conscience croissante des impacts des changements climatiques, il n'y a pas de signes généralisés d'adaptation par les entreprises au Canada. Lorsque l'adaptation a lieu, elle tend à se concentrer sur des actions à court terme pour faire face aux risques physiques, tels que les perturbations dans la construction et les interruptions dans les chaînes d'approvisionnement. Une participation accrue du secteur privé accélérerait l'adaptation au Canada dans son ensemble.

Une incertitude considérable plane quant au rôle du secteur privé dans l'adaptation aux changements climatiques au Canada. Bien qu'il existe plusieurs études de cas d'entreprises canadiennes s'adaptant aux changements climatiques, en particulier dans les secteurs des assurances et des ressources naturelles, rien ne prouve que ces actions soient largement représentatives de la réponse du monde des affaires aux changements climatiques. Les mesures qui ont été prises sont souvent des mesures à portée de main, axées sur les vulnérabilités précises des sites aux changements climatiques actuel, qui auraient été mises en œuvre sans tenir compte de l'augmentation des risques à l'avenir. Les incitations stratégiques associées au risque

physique, la sensibilisation croissante des intervenants à la nécessité de s'adapter et la réglementation gouvernementale figurent parmi les facteurs motivant l'adaptation des entreprises. Le manque de données disponibles sur l'adaptation des entreprises peut être influencé par la protection des informations internes; cependant, il existe également des obstacles évidents à l'adaptation liés à la capacité et aux délais à court terme de la plupart des exploitations commerciales. Des efforts supplémentaires, notamment en matière de recherche, pourraient contribuer à réduire ces obstacles en déterminant les rôles appropriés pour le secteur privé dans le soutien à l'adaptation.

7.9.1 Introduction

Le secteur privé, qui est une composante majeure de tous les secteurs abordés précédemment dans ce chapitre, est à la fois une source de risques et une occasion à saisir dans l'approche du Canada en matière d'adaptation aux changements climatiques. La recherche met en évidence la vulnérabilité des entreprises et des industries aux changements climatiques, en particulier la manière dont l'évolution des conditions environnementales (p. ex., des phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents) pourrait limiter la croissance, perturber les activités et dévaluer les investissements. Dans un même temps, les entreprises et les industries sont des acteurs essentiels qui soutiennent le développement de l'expertise, des outils et des connaissances liés à l'adaptation.

La participation du secteur privé à la lutte contre les changements climatiques a toujours été axée sur la réduction des émissions de GES plutôt que sur l'adaptation. Cependant, les gouvernements, les universitaires et d'autres organisations ont commencé à explorer le rôle potentiel de l'adaptation des entreprises, étant donné l'ampleur des investissements et des ressources nécessaires pour gérer les risques liés aux changements climatiques (Dougherty-Choux et coll., 2015). Le secteur privé pourrait contribuer à répondre aux demandes de nouvelles technologies, d'expertise en gestion et en modélisation des risques, de capacité d'étendre les solutions au-delà des collectivités individuelles, et de ressources financières nécessaires pour atteindre les objectifs d'adaptation nationaux et internationaux (CCNUCC, 2012; Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2012).

Un aperçu des impacts climatiques et des mesures d'adaptation dans les entreprises canadiennes a été inclus dans plusieurs chapitres de Warren et Lemmen (2014), avec Kovacs et Thistlethwaite (2014) qui note que l'adaptation des entreprises avait été largement réactive, réagissant aux fluctuations du climat ou aux phénomènes extrêmes, plutôt que de faire appel à une analyse des changements climatiques prévus sur le long terme. Il a en outre été noté qu'une adaptation réussie peut créer de nouvelles occasions grâce à l'expansion des marchés et des produits. La rareté des recherches publiées détaillant les impacts climatiques et l'adaptation des entreprises canadiennes a été soulignée, notant que dans certains cas, les mesures d'adaptation peuvent être sous-rapportées pour des raisons stratégiques.

Cette section s'appuie sur les conclusions de Kovacs et Thistlethwaite (2014) en se concentrant sur l'état de l'adaptation des entreprises au Canada en général. Elle complète la discussion sur les mesures d'adaptation spécifiques dans d'autres sections de ce chapitre, ainsi qu'un certain nombre de questions émergentes importantes pour le secteur privé, qui sont abordées dans le chapitre « [Divulgence, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) » du présent rapport.

7.9.2 Adaptation des entreprises au Canada

L'adaptation des entreprises aux changements climatiques est définie comme un « processus d'ajustement des entreprises aux changements climatiques réel ou prévu et à ses effets par des changements dans les stratégies, les activités, les pratiques ou les décisions d'investissement des entreprises » (Averchenkova et coll., 2016, p. 520). Les cas d'adaptation des entreprises au Canada, ainsi qu'à l'international, ont tendance à être limités et difficiles à généraliser au-delà des actions spécifiques aux secteurs et aux emplacements. Les analyses documentaires exhaustives sur l'adaptation des entreprises (Linnenluecke et Smith, 2018; Averchenkova et coll., 2016) n'ont pas relevé d'études canadiennes récentes (après 2011) sur l'adaptation des entreprises.

Les résultats des recherches menées dans d'autres pays industrialisés indiquent que les entreprises peuvent avoir une grande expérience de la gestion ou des ajustements opérationnels en réponse à l'évolution de l'environnement économique ou concurrentiel, mais qu'elles n'ont généralement pas été en mesure de traduire cette expérience en ajustements aux changements climatiques (Linnenluecke et coll., 2013). En conséquence, les entreprises séparent souvent l'adaptation aux changements climatiques des principaux processus de création de valeur, et la traitent plutôt comme une question de responsabilité sociale (Thistlethwaite et Wood, 2018; Furrer et coll., 2009).

Il est souvent difficile, et peut-être pas particulièrement utile, de distinguer les actions soutenant l'adaptation aux changements climatiques des actions découlant des processus de gestion des risques existants, étant donné que l'anticipation et l'identification de l'instabilité externe susceptible d'interrompre les services constituent une planification efficace de la continuité des activités (Agrawala et coll., 2011). Les experts ont fait valoir que l'adaptation peut être intégrée dans les stratégies standard de gestion des risques des entreprises en élargissant la portée de l'évaluation des risques, de l'établissement des priorités et des mesures d'intervention pour inclure les changements climatiques (Berkhout, 2012).

7.9.3 Mesures d'adaptation

La gestion des risques représente la stratégie principale des entreprises pour réduire leur vulnérabilité aux changements climatiques. En analysant l'adaptation du secteur privé, il est possible de faire la différence entre les mesures de gestion prises au niveau de l'entreprise pour limiter l'exposition opérationnelle aux changements climatiques, et la production d'outils et de services d'adaptation qui aident à gérer la vulnérabilité climatique (Schaer et Kuruppu, 2018). En matière de gestion de l'exposition opérationnelle, les mesures d'adaptation peuvent être classées comme des mesures « souples » ou « dures ». Les adaptations « souples » sont des mesures à faibles regrets, car elles demandent des investissements limités et génèrent des bénéfices, mais pas toujours un profit financier direct. Elles comprennent des activités telles que l'évaluation des risques climatiques et des opportunités, l'ajustement des pratiques d'exploitation, les programmes d'éducation et de sensibilisation, les intervenants et leur participation politique et la mise en œuvre de partenariats avec des acteurs externes. Les mesures d'adaptation « dures », quant à elles, demandent un investissement ou un changement majeur des pratiques et des opérations, comme la construction ou la rénovation de défenses structurelles, la relocalisation d'infrastructures ou de bureaux

ou le désinvestissement de propriétés et de secteurs à risque (Averchenkova et coll., 2016). Les services d'adaptation constituent une réponse à la demande de gestion des risques en matière de changements climatiques et de désastres, et comprennent des évaluations des risques climatiques et des possibilités, des technologies de cartographie et de télécommunications, des produits agricoles résilients aux changements climatiques et de nouveaux produits d'assurance (p. ex., des assurances paramétriques).

L'adaptation gagne du terrain au sein des entreprises grâce à de nombreux facteurs, dont une conscientisation accrue aux changements climatiques dans les firmes et les secteurs, des motivations stratégiques pour aborder les risques physiques (Williams et Schaefer, 2013) et des règlements gouvernementaux (Revell et coll., 2009). Au Canada, l'accent a été mis principalement sur la compréhension et la divulgation des risques physiques. Ces risques comprennent la perturbation dans la construction, les interruptions dans les chaînes d'approvisionnement, les coûts énergétiques volatiles associés à des fluctuations de la demande dues aux changements climatiques ainsi que des fermetures et des relocalisations lorsque des clients ou des employés sont incapables d'accéder à une entreprise en raison d'intempéries extrêmes (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; Comptables professionnels agréés Canada, 2016a; Linnenluecke et coll., 2011). Malgré cela, la plupart des entreprises peinent à mesurer un risque physique qui comporte beaucoup d'incertitudes et peut donc être considéré comme une préoccupation à plus long terme (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; Mazzacurati, 2018).

Dans l'ensemble, il y a peu de preuves de réponses claires à ces facteurs au Canada. Une enquête menée en 2018 sur les réponses des entreprises aux changements climatiques a révélé qu'une majorité d'entre elles ne prennent pas de mesures et qu'un quart des répondants estiment qu'elles prévoient de s'adapter (Earnscliffe Strategy Group, 2018). Un exemple est la mise en œuvre des stratégies par le secteur des assurances, visant à soutenir l'adaptation aux changements climatiques, en réponse à l'augmentation marquée des dommages matériels liés à l'eau (voir l'étude de cas 7.10; McBean, 2012). Les changements climatiques et les infrastructures et les immeubles vieillissants dans les régions où les risques climatiques sont élevés ont augmenté le nombre et le coût des demandes d'indemnisation pour les dommages causés par les inondations (Henstra et Thistlethwaite, 2017).

Étude de cas 7.10 : Les assurances et l'adaptation aux changements climatiques au Canada

L'inondation de 2013 dans le sud de l'Alberta a été la plus coûteuse de l'histoire du Canada. Malheureusement, les dommages causés par le ruissellement des eaux de l'inondation n'ont pas pu être couverts par une assurance sur les biens, laissant de nombreuses victimes sans ressources pour se rétablir complètement. Cet écart de couverture a conduit les assureurs à se demander si les Canadiens disposaient d'une couverture suffisante pour faire face à un climat en changement où l'on prévoit une augmentation des risques d'inondation (Comptables professionnels agréés Canada, 2016b). Les assureurs ont donc élargi leur couverture pour inclure les dommages causés par les inondations terrestres, qui était auparavant inexistante au Canada. L'assurance contre les inondations constitue un outil important pour améliorer la résilience aux changements climatiques, car elle permet d'attribuer des primes qui incitent les propriétaires, les entreprises et les collectivités à réduire leur propre exposition en élargissant la couverture et en partageant les coûts de recouvrement des dommages causés par les inondations (Thistlethwaite, 2016; GIEC, 2012). Cet engagement a permis une utilisation plus large de l'expertise en matière d'assurance sur la modélisation des risques et des stratégies de réduction des risques dans le cadre des efforts visant à promouvoir l'adaptation (Surminski et Hankinson, 2018). Cela est particulièrement important au Canada, où la sensibilisation aux risques d'inondation et la compréhension de la couverture d'assurance sont limitées dans tout le pays (Thistlethwaite et coll., 2017).

7.9.4 Manque de connaissances

Hormis quelques exemples dans le secteur des assurances et des ressources naturelles, il y a un manque de recherches et de données disponibles sur l'adaptation des entreprises au Canada. Le manque de connaissances commence par le fait que l'adaptation des entreprises reste mal définie en pratique, ce qui limite notre compréhension de ce qui, dans les comportements de gestion, de stratégie ou d'investissement, constitue des adaptations. Les entreprises pourraient donc ne pas déclarer l'adaptation, car elles ne savent pas si une mesure peut être définie comme telle.

Il subsiste également une incertitude quant à la motivation et aux obstacles à l'adaptation des entreprises. Au Canada, l'attention est surtout portée sur les risques physiques liés aux activités commerciales, mais il n'existe pratiquement aucune recherche sur les questions de sensibilisation des entreprises ou de réglementation. Il existe également peu de recherches sur les résultats de l'adaptation des entreprises et ses impacts sur les entreprises ou les collectivités où elles sont implantées. Le suivi et l'évaluation de l'adaptation des entreprises pourraient améliorer la compréhension de ces résultats (Surminski et Hankinson, 2018; Averchenkova et coll., 2016). Enfin, des recherches supplémentaires permettraient de clarifier le rôle des entreprises dans des politiques d'adaptation plus larges. La répartition des responsabilités en matière d'adaptation entre les différents intervenants reste une source d'ambiguïté.

Ce manque de connaissances est particulièrement préoccupant pour les petites et moyennes entreprises (PME), qui sont plus vulnérables aux risques climatiques (Linnenluecke et Smith, 2018). Les PME manquent de ressources par rapport aux grandes entreprises et peuvent avoir plus de difficultés à prioriser les problèmes perçus à long terme comme les changements climatiques, étant donné les préoccupations à court terme concernant le maintien des activités. L'enquête de 2018 sur les réponses des entreprises canadiennes aux changements climatiques a montré que les PME étaient beaucoup moins susceptibles de s'engager dans des actions visant à soutenir l'adaptation (Earnscliffe Strategy Group, 2018). Cet écart est d'autant plus préoccupant que le rétablissement d'une collectivité locale à la suite d'une catastrophe dépend souvent de la résilience des PME locales. Il est démontré que 40 % des PME ne parviennent pas à rouvrir après une catastrophe et que nombre d'entre elles sont incapables de poursuivre leurs activités même si elles rouvrent (McKay, 2018). Sans ces PME, la collectivité locale risque de ne jamais soutenir la croissance économique et la qualité de vie dont elle bénéficiait avant la catastrophe, car nombre d'entre elles fournissent des services essentiels tels que l'accès à la nourriture et aux médicaments.

7.9.5 Aller de l'avant

Bien que le manque de données disponibles empêche de tirer des conclusions claires sur l'état de l'adaptation des entreprises au Canada, il suggère que les entreprises pourraient ne pas avoir une capacité d'adaptation suffisante. La plupart des entreprises sont confrontées à des limites en ce qui concerne les ressources humaines et financières nécessaires pour interpréter les données relatives aux changements climatiques, d'évaluer les coûts et les avantages des actions et d'intégrer la flexibilité requise pour adapter les stratégies à mesure que de nouvelles informations se présentent (Wedawatta et Ingirige, 2016; Downing, 2012). Les recherches suggèrent également que les entreprises sont biaisées sur le plan organisationnel en faveur du court terme et des échelles locales, et qu'elles sont réticentes à agir lorsqu'elles sont confrontées à l'incertitude temporelle et spatiale associée aux changements climatiques (Bansal et coll., 2017; Slawinski et coll., 2017). Le manque de capacité d'adaptation et l'absence d'intérêt organisationnel dans la lutte contre les changements climatiques remettent en question la capacité actuelle des entreprises à jouer un rôle dans le soutien à l'adaptation aux changements climatiques.

7.10 Aller de l'avant

7.10.1 Manque de connaissances et nouveaux enjeux

Il a été constaté depuis plus d'une décennie que, dans la plupart des situations, les connaissances existantes sont suffisantes pour commencer à prendre des mesures d'adaptation au Canada (Lemmen et coll., 2008). Néanmoins, la nécessité d'accélérer la mise en œuvre des mesures d'adaptation a été reconnue dans les analyses scientifiques et politiques à l'échelle mondiale et nationale (p. ex., Conseil des académies canadiennes, 2019; GIEC, 2018; gouvernement du Canada, 2016; CCNUCC, 2015). L'évaluation des risques et des opportunités est souvent une condition préalable à l'augmentation des investissements dans l'adaptation. Il existe une large gamme de méthodologies, la plus appropriée étant déterminée par de nombreux facteurs, notamment la portée et l'objectif de l'évaluation et les ressources disponibles (p. ex., la stratégie du ministère de l'Environnement et des changements climatiques de la Colombie-Britannique, 2019). Le Conseil des académies canadiennes a entrepris une évaluation pour classer par ordre de priorité les risques liés aux changements climatiques pour le Canada et le gouvernement du Canada, en se basant en grande partie sur le jugement collectif d'experts (Conseil des académies canadiennes, 2019). Les principaux domaines à risque en matière de changements climatiques comprennent certains des secteurs examinés dans ce chapitre en tant que sections autonomes (agriculture, pêche, foresterie) ainsi que des thèmes qui y sont intégrés tout au long (p. ex., l'infrastructure physique ainsi que la gouvernance et la capacité). Il est important de noter que l'analyse a pris en compte le potentiel de réduction des dommages par l'adaptation, en plus de la probabilité et des conséquences potentielles associées à chaque risque. Parmi les sujets abordés dans ce chapitre, les infrastructures (y compris les transports) et l'agriculture ont été identifiées comme ayant le plus grand potentiel d'adaptation, et la pêche le plus faible (Conseil des académies canadiennes, 2019).

Si de nombreux facteurs contribuent à l'absence de progrès en matière d'adaptation, les incertitudes et les manques de connaissances sont fréquemment soulignés comme un obstacle à l'action (Eyzaguirre et Warren, 2014). Le manque de connaissances propre à chaque secteur est établi dans les sections précédentes de ce chapitre et les publications citées dans ces sections. Il existe également un certain nombre de nouveaux enjeux communs qui constituent un manque de connaissances important en ce qui concerne les secteurs économiques au Canada.

L'état de l'adaptation dans le secteur privé

Si la divulgation d'informations sur le climat apparaît comme un instrument clé pour comprendre comment le secteur privé évalue les risques climatiques physiques et y répond (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; GTDFC, 2017), ces informations sont largement limitées aux grandes entreprises cotées en bourse. Très peu d'informations sont disponibles sur les mesures d'adaptation prises par les petites et moyennes entreprises, même si nombre d'entre elles sont très exposées aux risques climatiques. Les enquêtes de référence (p. ex., Earncliffe Strategy Group, 2018) fournissent une base pour les travaux futurs.

Impacts climatiques transnationaux

Appelés également impacts transfrontaliers ou indirects, ils désignent les impacts climatiques qui se produisent dans un pays et qui affectent les mesures d'adaptation prises dans d'autres pays (Hedlund et coll., 2018). Elles pourraient concerner les impacts sur les chaînes d'approvisionnement mondiales, la compétitivité internationale, les flux financiers et le commerce (voir le chapitre « [Dimensions internationales](#) »). Par exemple, les inondations en Thaïlande en 2011 ont perturbé les chaînes d'approvisionnement mondiales de l'électronique et de l'automobile, entraînant des répercussions économiques dans de nombreux pays et entreprises (Shughrue et Seto, 2018). L'ampleur de ces vulnérabilités au Canada est essentiellement inconnue, bien que des recherches menées ailleurs indiquent que les économies ouvertes et fortement exportatrices sont particulièrement exposées (Hedlund et coll., 2018).

Interdépendances

Une grande partie de la recherche sectorielle existante qui examine les impacts climatiques au Canada et ailleurs s'est concentrée sur des secteurs individuels. Si l'importance de comprendre les interdépendances entre les secteurs s'accroît (voir la section 7.7.3), l'analyse quantitative de ces liens reste limitée. Sans une telle analyse, il est possible de sous-estimer considérablement les risques liés aux changements climatiques (Conseil des académies canadiennes, 2019).

Possibilité d'actifs délaissés

La compréhension du risque que les actifs perdent une valeur importante à la suite de changements de politique visant à lutter contre les changements climatiques est bien développée, notamment en ce qui concerne le secteur de l'énergie (p. ex., Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2018; GIEC, 2018). Beaucoup moins d'attention a été accordée, en particulier au Canada, aux actifs délaissés qui pourraient résulter des impacts physiques des changements climatiques (voir Circle of Blue, 2018 pour des exemples liés aux ressources en eau). Au Canada, la fermeture de la liaison ferroviaire avec le port de Churchill pendant 18 mois à la suite d'une inondation représente un délaissement temporaire des actifs du port (voir la section 7.7.2).

Renforcement de l'analyse économique

Un obstacle couramment cité à la mise en œuvre de mesures d'adaptation est l'absence d'un dossier commercial convaincant (Eyzaguirre et Warren, 2014). Bien qu'il existe des exemples d'analyses économiques détaillées, notamment des analyses coûts-avantages, coûts-efficacité et multicritères (p. ex., CCNUCC, 2011), l'application de ces techniques est limitée au Canada (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) »). À l'échelle nationale, l'analyse quantitative des impacts économiques dans le cadre d'une série de scénarios climatiques futurs fait défaut, ce qui pourrait entraver l'action visant à renforcer la résilience aux changements climatiques et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

7.11 Conclusion

L'examen des messages clés spécifiques au secteur et les discussions connexes dans ce chapitre révèle plusieurs conclusions intégratives :

1. Un très large éventail d'activités sectorielles sont touchées par les changements climatiques, ce qui est évident même si les auteurs se concentrent sur un nombre limité de questions clés par secteur. Si la recherche s'est traditionnellement concentrée sur les impacts climatiques directs sur la production (p. ex., l'agriculture, la foresterie, la pêche et l'hydroélectricité) et, dans une moindre mesure, sur la demande des consommateurs (p. ex., l'énergie et le tourisme), il est clair que les impacts cumulés et en cascade des changements climatiques touchent en fin de compte pratiquement tous les éléments des systèmes sectoriels. Cette ampleur souligne l'intérêt des évaluations complètes des risques et des opportunités pour éclairer l'adaptation.
2. Il est important de comprendre les interconnexions au sein et entre de multiples secteurs (voir la section 7.7.3). Pour certains secteurs, tels que le transport, cela est particulièrement évident étant donné son rôle essentiel dans les chaînes d'approvisionnement (voir la section 7.7.3). La fiabilité et la résilience du système de transport de marchandises du Canada en ce qui a trait à l'accès aux marchés nationaux et internationaux sont une question cruciale pour la durabilité de l'agriculture au Canada (voir la section 7.4.3). La réaction du secteur forestier aux feux de forêt a des implications pour de nombreux autres secteurs, notamment les coûts liés aux évacuations, aux dommages causés aux bâtiments, aux routes, aux pipelines et autres infrastructures physiques, à la fermeture d'entreprises et d'industries, et aux coûts d'assurance (voir la section 7.2.2). L'émergence du tourisme dans l'Arctique a des répercussions sociales et culturelles imprévues, et met à rude épreuve les capacités de recherche et de sauvetage (voir la section 7.8.3). D'autres études de modélisation pourraient contribuer à élucider la nature de ces interconnexions (voir la section 7.7.4).
3. L'adaptation a lieu dans tous les secteurs, mais elle doit être accélérée. Cela s'applique aux mesures qui réduisent les risques et à celles qui tirent parti des nouveaux débouchés. Il convient de noter qu'une adaptation réussie réduit non seulement la vulnérabilité des secteurs et des collectivités au Canada, mais renforce également la résilience mondiale (p. ex., la sécurité alimentaire) (voir les sections 7.3.1, 7.4.3). La plupart des exemples de mesures d'adaptation mises en œuvre se rapportent aux secteurs où les effets directs des changements climatiques sont déjà évidents. Les preuves d'une adaptation généralisée au sein du secteur privé sont particulièrement limitées, malgré le rôle clé qu'il joue dans tous les secteurs examinés ici (voir la section 7.9.2). La nécessité d'une collaboration utilisant une approche systémique qui inclut les producteurs, les gestionnaires d'actifs, les régulateurs, les chercheurs et les intervenants pertinents est un besoin souvent constaté (voir les sections 7.2.3, 7.4.1, 7.5.5, 7.6.4, 7.7.4). Enfin, il est extrêmement important de faire le suivi des mesures d'adaptation qui ont été mises en œuvre et d'en rendre compte afin d'éclairer la planification (voir les sections 7.5.4, 7.6.4, 7.10).



4. Il est urgent d'accélérer les mesures d'adaptation. L'urgence est particulièrement évidente lorsque les risques climatiques actuels ne sont pas gérés de manière adéquate et lorsque les décisions d'investissement prises aujourd'hui ont des implications qui s'étendront sur de nombreuses décennies : par exemple, les décisions concernant les infrastructures (voir les sections 7.6, 7.7, 7.8), la gestion des forêts (voir la section 7.2) et la restauration des mines (voir la section 7.5). Bien que l'adaptation proactive soit généralement reconnue comme étant plus efficace et plus rentable que les approches réactives (c.-à-d. répondre aux impacts au fur et à mesure qu'ils se produisent), et qu'elle offre des possibilités d'innovation et d'avantage concurrentiel (p. ex., Eyzaguirre et Warren, 2014), il est reconnu que les décisions d'investissement dans les secteurs public et privé se prennent dans un contexte de priorités concurrentes et de coûts d'opportunité connexes. Des évaluations complètes des risques et des opportunités peuvent être essentielles afin de déterminer les priorités, en particulier celles qui incluent la prise en compte du potentiel d'adaptation (voir les sections 7.7.3, 7.8.5, 7.10). Il est également urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, car le nombre d'options d'adaptation viables diminue lorsque le taux de changements climatiques est élevé, et les limites de l'adaptation peuvent être dépassées (GIEC, 2018, 2014).

7.12 Références

- Adams, C.F., Alade, L.A., Legault, C.M., O'Brien, L., Palmer, M.C., Sosebee, K.A. et Traver, M.L. (2018). « Relative importance of population size, fishing pressure and temperature on the spatial distribution of nine Northwest Atlantic groundfish stocks ». *PLoS ONE*, 13(4), e0196583. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196583>>
- Agence internationale de l'énergie (2015). « Making the energy sector more resilient to climate change ». COP 21 Resilience Brochure. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iea.org/reports/making-the-energy-sector-more-resilient-to-climate-change>>
- Agence internationale de l'énergie (2016a). « Key World Energy Statistics 2016 ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.oecd-ilibrary.org/energy/key-world-energy-statistics-2016_key_energy_stat-2016-en>
- Agence internationale de l'énergie (2016b). « International Energy Agency Workshop Report Sixth Forum on the Climate-Energy Security Nexus ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iea.org/events/6th-forum-on-the-climate-energy-security-nexus-emerging-best-practices-and-lessons-for-north-america>>
- Agence internationale de l'énergie (2018). « Getting Wind and Sun onto the Grid: A Manual for Policy Makers ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-77295-ea.pdf>>
- Agence internationale pour les énergies renouvelables [CRI] (2018). « Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 ». 76 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf>
- Agrawala, S., Carraro, M., Kingsmill, N., Lanzi, E., Mullan, M. et Prudent-Richard, G. (2011). « Private Sector Engagement in Adaptation to Climate Change ». OECD Environment Working Papers 39, OECD Publishing. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/5kg221jkd1g7-en>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2016). Vue d'ensemble du système agricole et agroalimentaire canadien 2016. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.agr.gc.ca/fra/a-propos-de-notre-ministere/publications/publications-economiques/vue-d-ensemble-du-systeme-agricole-et-agroalimentaire-canadien-2016/?id=1462288050282>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2018). « Climate change scenario maps drawn from CMIP5 data -26 GCMs as supplied by PCIC ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.pacificclimate.org/data/statistically-downscaled-climate-scenarios>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2019). Guetter la sécheresse. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.agr.gc.ca/fra/agriculture-et-climat/guetter-la-secheresse/?id=1461263317515>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada et Agence canadienne d'inspection des aliments (2008). « Invasive Alien Species (IAS) Backgrounder ». Agriculture and Agri-Food Portfolio, Environmental Health Research Branch, AAFC and Plant Health Division, Policy and Programs Branch, CFIA.
- Alin, S., Evans, W., Gao, Z., Gurney-Smith, H., Lee, K. et Tischenko, P. (2019). « Ocean acidification and deoxygenation in the North Pacific Ocean ». J. Christian and T. Ono (éd), PICES Special Publication 6, 116 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://meetings.pices.int/publications/special-publications/Special-Report%205-Ocean_Acidification.pdf>
- Allen, R., Whelen, M. et Khan, A. (2016). « Building Resilience to Counter the Impact of International Supply Chain Vulnerabilities ». Canadian Transportation Research Forum, 8 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ctrf.ca/wp-content/uploads/2016/05/CTRF2016AllenWhelenKhanLogisticsTrade.pdf>>
- Alliance canadienne du commerce agroalimentaire (2020). Commerce agroalimentaire. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://cafta.org/fr/commerce-agroalimentaire/>>
- Amec Foster Wheeler Environment Infrastructure (2017). « Canada's Climate Change Adaptation Platform: Infrastructure and Buildings Working Group Adaptation State of Play Report ». 162 p.
- American Council on Renewable Energy (2018). « The role of Renewable Energy in National Security ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://acore.org/wp-content/uploads/2018/10/ACORE_Issue-Brief_-The-Role-of-Renewable-Energy-in-National-Security.pdf>
- Andersland, O.B. et Ladanyi, B. (2003). « Frozen ground engineering ». John Wiley and Sons, 384 p.
- Andrews-Key, S.A. (2018). « Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Sustainable Forest Management and the Forest Industry in Saskatchewan (PhD Thesis) ». University of Saskatchewan. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://hdl.handle.net/10388/11671>>

Andrey, J. et Palko, K. (2017). Introduction, dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 2–10. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/risques-climatiques-et-pratiques-en-matiere-dadaptation-pour-le-secteur-canadien-des-transport-2016/19630?ga=2.35490722.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

Antunes, P., Bernard, M.-C. et Owusu, P. (2016). « The Economic Impacts of the 2016 Alberta Wildfires ». The Conference Board of Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?did=8420>>

Arzhanov, M.M., et Mokhov, I.I. (2013). « Temperature trends in the permafrost of the Northern Hemisphere: Comparison of model calculations with observations ». *Doklady Earth Sciences*, 449(1), 319–323. Consulté en juin 2020 sur le site <[10.1134/S1028334X1303001X](https://doi.org/10.1134/S1028334X1303001X)>

Astrup, R., Bernier, P. Y., Genet, H., Lutz, D. A. et Bright, R. M. (2018). « A sensible climate solution for the boreal forest ». *Nature Climate Change*, 8, 11–12. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-017-0043-3>>

Associated Engineering Limited (2018). « Final Report: Improving Coastal Flood Adaptation Approaches ». Fédération canadienne des municipalités MCIP 15274. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.surrey.ca/files/CFAS-ICFAA-FinalReport-29032018.pdf>>

Association canadienne de l'électricité (2016). « Adapting to Climate Change: State of Play and Recommendations for the Electricity Sector in Canada ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://electricity.ca/wp-content/uploads/2016/02/The_Canadian_Electricity_Association_Releases_a_Roadmap_to_Climate_Change_Adaptation_final.pdf>

Association canadienne des barrages (2013). Directives sur la sécurité des barrages. Bibliothèque et Archives Canada, Catalogage avant publication, Ottawa, Ontario.

Association des Stations de Ski du Québec (2016). Congrès 2016: Le Québec a atteint le 5,125 millions de jours/ski pour la saison 2015–2016. Tourismexpress. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://tourismexpress.com/nouvelles/congres-assq-2016-le-quebec-a-atteint-le-5-125-millions-de-jours-ski-pour-la-saison-2015-16>>

Aubertin, M., Bussière, B. et Bernier, L. (2002). Environnement et gestion des résidus miniers. Presses Internationales de Polytechnique, Corporation de l'École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada.

Aubertin, M., Bussière, B., Barbera, J.M., Chapuis, R.P., Monzon, M. et Aachib, M. (1997). « Construction and instrumentation of in situ test plots to evaluate covers built with clean tailings ». 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, British Columbia, Canada, vol. 2, 715–730.

Aubertin, M., Bussière, B., James, M., Jaouhar, E.M., Martin, V., Pépin, N., Mbonimpa, M. et Chapuis, R.P. (2011). Vers une mise à jour des critères de stabilité géotechnique pour la conception des ouvrages de retenue de résidus miniers. Symposium 2011 sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.

Aubertin, M., Bussière, B., Pabst, T., James, M. et Mbonimpa, M. (2016). « Review of the reclamation techniques for acid-generating mine wastes upon closure of disposal sites ». *Geo-Chicago 2016*, 343–358. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784480137.034>>

Aubertin, M., Pabst, T., Bussière, B., James, M., Mbonimpa, M. Benzaazoua et Maqoud, A. (2015). Revue des meilleures pratiques de restauration des sites d'entreposage de rejets miniers générateurs de DMA. Symposium 2015 sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.

Averchenkova, A., Crick, F., Kocornik-Mina, A., Leck, H. et Surminski, S. (2016). « Multinational and large national corporations and climate adaptation: Are we asking the right questions? A review of current knowledge and a new research perspective ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(4), 517–536. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.402>>

Azam, S. et Li, Q. (2010). « Tailings dam failures: a review of the last one hundred years ». *Geotechnical News*, 28(4), 50–54. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.semanticscholar.org/paper/Tailings-Dam-Failures%3A-A-Review-of-the-Last-One-Azam-Li/e57ebdac0a801b412cefd42017c2dded29cafd41>>

Banque asiatique de développement (2012). « Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29889/climate-risks-adaptation-power-sector.pdf>>

Banque asiatique de développement (2013). « Guidelines for Climate Proofing Investment in the Energy Sector ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.adb.org/documents/guidelines-climate-proofing-investment-energy-sector>>

Bansal, P., Kim, A. et Wood, M.O (2017). « Hidden in Plain Sight: The Importance of Scale on Organizational Attention to Issues ». *Academy of Management Review*, 43(2). January, amr.2014.0238. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5465/amr.2014.0238>>

- Barton, A., Hales, B., Waldbusser, G., Langdon, C. et Feely, R.A. (2012). « The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects ». *Limnology and Oceanography*, 57(3), 698–710. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.3.0698>>
- Beardy's et Okemasis' Cree Nation (s.d.). « Fire ». Consulté en janvier 2019 sur le site <<https://bofn9697.com/tag/fire>>
- Becken, S., Whittlesea, E., Schliephack, J. et Scott, D. (2020). « Tourism and climate change: evaluating the extent of policy integration ». *Journal of Sustainable Tourism*, 25(10), 1–18. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1745217>>
- Becker, A., Ng, A., McEvoy, D. et Mullett, J. (2018). « Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(2). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.508>>
- Bentz, B.J., Régnière, J., Fettig, C.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G., Negron, J.F. et Seybold, S.J. (2010). « Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects ». *BioScience*, 60(8), 602–613. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.8.6>>
- Berkhout, F. (2012). « Adaptation to Climate Change by Organizations ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(1), 91–106. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.154>>
- Bernier, P.Y., Gauthier, S., Jean, P.-O., Manka, F., Boulanger, Y., Beaudoin, A. et Guindon, L. (2016). « Mapping local effects of forest properties on fire risk across Canada ». *Forests*, 7(8), 157. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f7080157>>
- Berry, P., Clarke, K., Fleury, M.D. et Parker, S. (2014). Santé humaine, Chapitre 7 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 191–232. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapter7-Human-Health_Eng.pdf>
- Beverly, J.L. et Bothwell, P. (2011). « Wildfire evacuations in Canada 1980–2007 ». *Natural Hazards*, 59(1), 571–596. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9777-9>>
- Bindoff, N.L., Cheung, W.W.L., Kairo, J.G., Aristegui, J., Guinder, V.A., Hallberg, R., Hilmi, N., Jiao, N., Karim, M.S., Levin, L., O'Donoghue, S., Purca Cuicapusa, S.R., Rinkevich, B., Suga, T., Tagliabue, A. et Williamson, P. (2019). « Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities », dans *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer (éd.). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-5/>>
- Blackwell, B.A., Shrimpton, G., Steele, F., Ohlson, D.W. et Needoba, A. (2008). « Development of a Wildfire Risk Management System for British Columbia Transmission Corporation's Rights-of-Way ». *Environment Concerns in Rights-of-Way Management 8th International Symposium*, 793–801. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/B978-044453223-7.50085-X>>
- Bladon, K.D. (2018). « Rethinking wildfires and forest watersheds ». *Science*, 359(6379), 1001–1002. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aar8120>>
- Blight, G.H. (2010). « Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities ». Taylor and Francis Group, London, Royaume-Uni, CRC Press, 652 p.
- Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Jambor, J.L. et Weisener, C.G. (2003). « The geochemistry of acid mine drainage ». *Treatise on Geochemistry*, 9, 149–204. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09137-4>>
- Boiffin, J. et Munson, A.D. (2013). « Three large fire years threaten resilience of closed crown black spruce forests in eastern Canada ». *Ecosphere*, 4(5), 1–20. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/ES13-00038.1>>
- Bombardier Produits récréatifs (2017). Assemblée Générale Annuelle 2017. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://brp.gcs-web.com/fr/rapports-annuels?c=251742&p=irol-reportsannual>>
- Bonsal, B.R., Peters, D.L., Seglenieks, F., Rivera, A. et Berg, A. (2019). Évolution de la disponibilité de l'eau douce à l'échelle du Canada, Chapitre 6 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 261–342. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/6-0/>>
- Boucher, D., Boulanger, Y., Aubin, I., Bernier, P.Y., Beaudoin, A., Guindon, L. et Gauthier, S. (2018). « Current and projected cumulative impacts of fire, drought, and insects on timber volumes across Canada ». *Ecological Applications*, 28(5), 1245–1259. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/eap.1724>>

- Boulanger, Y., Gauthier, S. et Burton, P.J. (2014). « A refinement of models projecting future Canadian fire regimes using homogeneous fire regime zones ». *Canadian Journal of Forest Research*, 44(4), 365–376. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0372>>
- Boulanger, Y., Girardin, M., Bernier, P.Y., Gauthier, S., Beaudoin, A. et Guindon, L. (2017). « Changes in mean forest age in Canada's forests could limit future increases in area burned but compromise potential harvestable conifer volumes ». *Canadian Journal of Forest Research*, 47(6), 755–764. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0445>>
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013). « Climate Change Adaptation and Canadian Infrastructure: A review of the literature ». International Institute of Sustainable Development Report, 35 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation_can_infrastructure.pdf>
- Braun, M. (2016). De nouvelles normales climatiques pour la prévision de la demande d'électricité, Étude de cas préparé pour la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 10. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/programmes/etudes-de-cas-adaptation-energie/>>
- Braun, M. et Fournier, E. (2016). Études de cas d'adaptation dans le secteur de l'énergie – Surmonter les obstacles à l'adaptation. Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 114 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/programmes/etudes-de-cas-adaptation-energie/>>
- Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M. et Zhang, J. (2018). « Declining oxygen in the global ocean and coastal waters ». *Science*, 359(6371), eaam7240. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://science.sciencemag.org/sites/all/libraries/pdfjs/web/viewer.html?file=/content/sci/359/6371/eaam7240.full.pdf>>
- Bresson, É., Demers, I., Chavallaz, Y., Roy, P. et Pabst, T. (2018). « Effectiveness of oxygen barriers as reclamation methods under climate change: definition of a drought index ». Actes de la conférence Tailings and Mine Waste 2018, Keystone, Colorado, USA. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/327158187_Effectiveness_of_oxygen_barriers_as_reclamation_methods_under_climate_change_definition_of_a_drought_index>
- Brickman, D., Hebert, D. et Wang, Z. (2018). « Mechanism for the recent ocean warming events on the Scotian Shelf of Eastern Canada ». *Continental Shelf Research*, 156(15), 11–22. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.01.001>>
- Brodeur, R., Perry, I., Boldt, J., Flostrand, L., Galbraith, M., King, J., Murphy, J., Sakuma, K. et Thompson, A. (2018). « An unusual gelatinous plankton event in the NE Pacific: The Great Pyrosome Bloom of 2017 ». *PICES Press*, 26(1), 22–27. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/322665037_An_unusual_gelatinous_plankton_event_in_the_NE_Pacific_The_Great_Pyrosome_Bloom_of_2017>
- Brown, C.D. et Johnstone, J.F. (2012). « Once burned, twice shy: Repeat fires reduce seed availability and alter substrate constraints on *Picea mariana* regeneration ». *Forest Ecology and Management*, 266, 34–41. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.006>>
- Bureau d'assurance du Canada (2016). Les feux de forêt de l'Alberta : la catastrophe naturelle la plus chère de toute l'histoire du Canada. Consulté en janvier 2020 sur le site <<http://www.abc.ca/fr/bc/ressources/centre-des-médias/communiqués-de-presse/les-feux-de-forêt-de-l'alberta-la-catastrophe-naturelle-la-plus-chère-de-toute-l'histoire-du-canada>>
- Bureau d'assurance du Canada (2019). Assurances de dommages au Canada 2019, 41e édition. Consulté en juin 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf>
- Bureau of Transportation Statistics (2018). « Border Crossing/Entry Data ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.bts.gov/content/border-crossingentry-data>>
- Burton, P.J. (2010). « Striving for sustainability and resilience in the face of unprecedented change: the case of the mountain pine beetle outbreak in British Columbia ». *Sustainability*, 2(8), 2403–2423. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su2082403>>
- Bush, E. et Lemmen, D.S. (Eds.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 444. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>
- Bussièrre, B. (2007). « Colloquium 2004: Hydrogeotechnical properties of hard rock tailings from metal mines and emerging geoenvironmental disposal approaches ». *Canadian Geotechnical Journal*, 44(9), 1019–1052. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/T07-040>>
- Bussièrre, B., Aubertin, M. et Chapuis, R.P. (2003). « The behavior of inclined covers used as oxygen barriers ». *Canadian Geotechnical Journal*, 40(3), 512–535. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/t03-001>>

Bussière, B., Aubertin, M., Zagury, G. J., Potvin, R. et Benzaazoua, M. (2005). Principaux défis et pistes de solution pour la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers abandonnées. Symposium 2005 sur l'environnement et les mines. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/267855816-PRINCIPAUX_DEFIS_ET_PISTES_DE_SOLUTION_POUR_LA_RESTAURATION_DES_AIRES_D'ENTREPOSAGE_DE_REJETS_MINIERS_ABANDONNEES>

Bussière, B., Potvin, R., Dagenais, A., Aubertin, M., Maqsood, A. et Cyr, J. (2009). Restauration du site minier Lorraine, Latulipe, Québec: Résultats de 10 ans de suivi. *Déchets – Revue francophone d'écologie industrielle*, 1–16. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.1254>>

Bussière, B., Demers, I., Charron, P., Bossé, B., Roy, P., Jébrak, M. et Trépanier, S. (2017). Analyse de risques et de vulnérabilités liés aux changements climatiques pour le secteur minier québécois, 331 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/analyse-changements-climatiques-secteur-minier.pdf>>

Calkin, D.E., Cohen, J.D., Finney, M.A. et Thompson, M.P. (2014). « How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(2), 746–751. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1315088111>>

Campbell, I.D., Durant D.G., Hunter, K.L. et Hyatt, K.D. (2014). La production alimentaire, Chapitre 4 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 99–134. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?ga=2.116836869.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2011). « Assessing the costs and benefits of adaptation options: An overview of approaches ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://unfccc.int/resource/docs/publications/pub_nwp_costs_benefits_adaptation.pdf>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2012). « Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change ». Consulté en juin 2020 sur le site <http://unfccc.int/adaptation/workstreams/nairobi_work_programme/items/6547.php>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2015). L'Accord de Paris. Consulté en juin 2020 sur le site <https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf>

Centre d'expertise hydrique du Québec (2019). Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Consulté en mai 2019 sur le site <www.cehq.gouv.qc.ca>

Chandler, P.C., King, S.A. et Perry, R.I. (Eds.) (2016). « State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2015 ». *Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences*, 3179, viii + 230 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/365564.pdf>>

Christianson, A. (2015). « Social science research on Indigenous wildfire management in the 21st century and future research needs ». *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 190–200. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF13048>>

Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R.B., Piao, S. et Thornton, P. (2013). « Carbon and Other Biogeochemical Cycles », dans *Changements climatiques 2013 – les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC*, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf>

Circle of Blue (2018). « Stranded Assets ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.circleofblue.org/stranded-assets>>

Claireaux, G. et Chabot, D. (2016). « Responses by fishes to environmental hypoxia: integration through Fry's concept of aerobic metabolic scope ». *Journal of Fish Biology*, 88, 232–251. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfb.12833>>

Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques [CVIIP] (s.d.). Le protocole d'ingénierie du CVIIP. Ingénieurs Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://pievc.ca/fr/le-protocole-dingenierie-du-cviip>>

Comptables professionnels agréés Canada (2016a). « How Organizations Can Adapt to Climate Change ». Comptables professionnels agréés Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/-/media/site/business-and-accounting-resources/docs/climate-change-mitigation-adaptation-brief-2-how-organizations-can-adapt-to-climate-change-february-2016.pdf?la=en&hash=53D86B64BA875656F49B457BD7CCFB5D4B94859F>>

Comptables professionnels agréés Canada (2016b).

« Adaptation Case Study #4: The Co-Operators ». Comptables professionnels agréés Canada. <<https://www.cpacanada.ca/-/media/site/business-and-accounting-resources/docs/climate-change-adaptation-case-study-4-the-co-operators-october-2015.pdf?la=en&hash=6A57F3569EF436E13C7E2BB0DA6184D7BE4EDF6B>>

Conseil canadien des ministres des forêts (s.d.). Changements climatiques. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ccfm.org/francais/coreproducts-cc.asp>>

Conseil des académies canadiennes (2019). « Canada's Top Climate Change Risks ». Le groupe d'experts sur les risques liés au changements climatiques et le potentiel d'adaptation, Conseil des académies canadiennes, Ottawa, Ontario, 70 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://cca-reports.ca/wp-content/uploads/2019/07/Report-Canada-top-climate-change-risks.pdf>>

Conseil mondial de l'énergie, Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) et Cambridge Judge Business School (2014). « Climate Change: Implications for the Energy Sector, IPCC Climate Science Business Briefings ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cisl.cam.ac.uk/business-action/low-carbon-transformation/ipcc-climate-science-business-briefings/energy>>

Coulombe, S., Bernier, P.Y. et Raulier, F. (2010). « Uncertainty in detecting climate change impact on the projected yield of black spruce (*Picea mariana*) ». *Forest Ecology and Management*, 259(4), 730–738. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.028>>

Creed, I., Weber, M., Accatino, F. et Kreutzweiser, D. (2016). « Managing forests for water in the Anthropocene—the best kept secret services of forest ecosystems ». *Forests*, 7(3), 60. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f7030060>>

Cross Dependency Initiative (2019). « Building climate resilience across critical infrastructure », 4 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://xdi.systems/wp-content/uploads/2019/05/XDI_Sydney-A3toA4_singlepages.pdf>

Crossin, G.T., Al-Ayoub, S.A., Jury, S.H., Howell, W.H. et Watson III, W.H. (1998). « Behavioral thermoregulation in the American lobster *Homarus americanus* ». *Journal of Experimental Biology*, 207, 365–374. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://jeb.biologists.org/content/jeb/201/3/365.full.pdf>>

Cruz, A.M. et Krausmann, E. (2013). « Vulnerability of the oil and gas sector to climate change and extreme weather events ». *Climatic Change*, 121(1), 41–53. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-013-0891-4>>

CTV (2018). « All aboard: First passenger train in 18 months departs for Churchill, Man. » Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ctvnews.ca/mobile/canada/all-aboard-first-passenger-train-in-18-months-departs-for-churchill-man-1.4201440>>

Da Silva, L., Desrochers, F.-A., Pineault, K., Gosselin, C.-A., Grenier, P. et Larose, G. (2019). Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec. Ouranos, Montréal, 119 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDaSilva2019.pdf>>

Dagenais, A.-M., Aubertin, M., Bussière, B., Bernier, L. et Cyr, J. (2001). « Monitoring at the Lorraine Mine Site: A Follow-Up on the Remediation Plan ». National Association of Abandoned Mine Land Programs Annual Conference, August 19–22, Athens, Ohio, 19 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.492.4689&rep=rep1&type=pdf>>

Daniel, C.J., Ter-Mikaelian, M.T., Wotton, B.M., Rayfield, B. et Fortin, M.-J. (2017). « Incorporating uncertainty into forest management planning: Timber harvest, wildfire and climate change in the boreal forest ». *Forest Ecology and Management*, 400, 542–554. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.039>>

Dawson, J., Stewart, E.J., Lemelin, R.H. et Scott, D. (2010). « The carbon cost of polar bear viewing tourism in Churchill, Canada ». *Journal of Sustainable Tourism*, 18(3), 319–336. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669580903215147>>

Dawson, J., Stewart, E.J., Johnston, M.E. et Lemieux, C.J. (2016). « Identifying and evaluating adaptation strategies for cruise tourism in Arctic Canada ». *Journal of Sustainable Tourism*, 24(10), 1425–1441. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1125358>>

Dawson, J., Copland, L., Johnston, M.E., Pizzolato, L., Howell, S., Pelot, R., Etienne, L., Matthews, L. and Parsons, J. (2017). « Climate change adaptation strategies and policy options for Arctic shipping ». Rapport préparé pour Transports Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/36016>>

Dawson, J., Pizzolato, L., Howell, S., Copland, L. et Johnston, M. (2018). « Temporal and spatial patterns of ship traffic in the Canadian Arctic from 1990 to 2015 ». *Arctic*, 71(1), 15–26. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.14430/arctic4698>>

Dawson, R. (2015). « Handling interdependencies in climate change risk assessment ». *Climate*, 3(4), 1079–1096. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/cli3041079>>

- Department of Energy des États-Unis (2016). « Climate Change and the Electricity Sector: Guide for Climate Change Resilience Planning ». Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/Climate%20Change%20and%20the%20Electricity%20Sector%20Guide%20for%20Climate%20Change%20Resilience%20Planning%20September%202016_0.pdf>
- Department of Environment, Food and Rural Affairs (2011). « Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate ». 71 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69269/climate-resilient-infrastructure-full.pdf>
- Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., Thackeray, C. et Kirchmeier-Young, M. (2019). Évolution de la neige, de la glace et du pergélisol à l'échelle du Canada, Chapitre 5, dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 194–260. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/5-0/>>
- Dewar, J.A. et Wachs, M. (2008). « Transportation planning, climate change, and decision making under uncertainty ». Transportation Research Board, 26 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290dewarwachs.pdf>>
- Dixon, L., Tsang, F. et Fitts, G. (2018). « The Impact of Changing Wildfire Risk on California's Residential Insurance Market ». The RAND Corporation, California, USA, 105 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://climateassessment.ca.gov/techreports/docs/20180827-Forests_CCCA4-CNRA-2018-008.pdf>
- Doré, G. et Zubeck, H. K. (2009). « Cold regions pavement engineering ». ASCE Press, Reston, Virginia, 403 p.
- Dougherty-Choux, L., Terpstra, P., Kamila, S. et Kurukulasuriya, P. (2015). « Adapting from the Ground Up ». World Resources Institute, Washington, DC. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.preventionweb.net/go/47027>>
- Downing, T.E. (2012). « Views of the frontiers in climate change Adaptation economics ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(2), 161–70. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.157>>
- Dubois, A., Hulthen, K. et Pedersen, A. (2011). « Interdependence Within and Among "Supply Chains" ». 21 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Kajsa_Hulthen/publication/242489338_INTERDEPENDENCE_WITHIN_AND_AMONG_aposSUPPLY_CHAINSapos/links/54006e0c0cf24c81027dec7e/INTERDEPENDENCE-WITHIN-AND-AMONG-aposSUPPLY-CHAINS-apos.pdf>
- Dupont-Prinet, A., Vagner, M., Chabot, D. et Audet, C. (2013). « Impact of hypoxia on the metabolism of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70, 461–469. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0327>>
- Dymond, C.C., Spittlehouse, D.L., Tedder, S., Hopkins, K., McCallion, K. et Sandland, J. (2015). « Applying resilience concepts in forest management: a retrospective simulation approach ». *Forests*, 6(12), 4421–4438. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f6124377>>
- Earncliffe Strategy Group (2018). « National Climate Change Adaptation Survey ». Rapport préparé pour la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa.
- Edwards, J.E., Pearce, C., Ogden, A.E. et Williamson, T.B. (2015). Changements climatiques et aménagement forestier durable au Canada: Guide d'évaluation de la vulnérabilité et d'intégration des mesures d'adaptation dans le processus décisionnel. Groupe de travail sur les changements climatiques du Conseil canadien des ministres des forêts, 172 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ccfm.org/pdf/Guide%20vulnérabilité_2%20juin_FR.pdf>
- Ekstrom, J.A., Suatoni, L., Cooley, S.R., Pendelton, L.H., Waldbusser, G.G., Cinner, J.E., Ritter, J., Langdon, C., van Hooidonk, R., Gledhill, D., Wellman, K., Beck, M.W., Brander, L.M., Rittschof, D., Doherty, C., Edwards, P.E.T. et Portela, R. (2015). « Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification ». *Nature Climate Change*, 5, 207–214. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2508>>
- Environnement et Changement climatique Canada (2018). Centre canadien des services climatiques. Consulté en décembre 2019 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques.html>>
- Environnement et Changement climatique Canada (2020). Évaluation stratégique des changements climatiques (révisée, octobre 2020) 20 p. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/services/environnement/conservation/evaluation/evaluations-strategiques/changements-climatiques.html>>
- Eriksson, N. et Adamek, P. (2000). « The tailings pond failure at the Aznalcóllar mine, Spain ». British Columbia MEND ML/ARD Annual Workshop, 8 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://bc-mlard.ca/files/presentations/2016-19-ERIKSSON-ADAMEK-tailings-pond-failure-aznalcollar.pdf>>
- Ernst, B., Orensanz, J.M. et Armstrong, D.A. (2005). « Spatial dynamics of female snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the eastern Bering Sea ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 250–268. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/f04-201>>

Ethier, M.P., Bussière, B., Broda, S. et Aubertin, M. (2018). « Three-dimensional hydrogeological modeling to assess the elevated-water-table technique for controlling acid generation from an abandoned tailings site in Quebec, Canada ». *Hydrogeology Journal*, 26(4), 1201–1219. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10040-017-1713-y>>

Executive Office of the President (2013). « Economic benefits of increasing electric grid resilience to weather outages ». Consulté en juin 2020 sur le site <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/08/f2/Grid%20Resiliency%20Report_FINAL.pdf>

Eyzaguirre, J. et Warren, F.J. (2014). Adaptation : établir un lien entre la recherche et la pratique, Chapitre 9 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 253–286. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?ga=2.107348737.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

Eyzaguirre, J. (2016). FAQ 11: Comment les coûts des impacts de changements climatiques se comparent-ils aux coûts de l'adaptation? dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 270–272. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-l-evolution-du-climat/18391?ga=2.70050579.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

Finlay, S.E., Moffat, A., Gazzard, R., Baker, D. et Murray, V. (2012). « Health impacts of wildfires ». *PLoS Currents Disasters, Edition 1*. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/4f959951cce2c>>

Finley, T. et Schuchard, R. (s.d.). Adapting to climate change: a guide for the transportation industry. BSR Industry Series, 7 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Transportation.pdf>

FireSmart Canada (2018). « FireSmart Guidebook for the Oil and Gas Industry ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.firesmartcanada.ca/mdocs-posts/firesmart-guidebook-for-the-oil-and-gas-industry>>

FireSmart Canada (2019a). « FireSmart Videos ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.firesmartcanada.ca/resources-library/firesmart-videos>>

FireSmart Canada (2019b). « Vegetation Management ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.firesmartcanada.ca/what-is-firesmart/vegetation-management>>

Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., De Groot, W.J., Wotton, B.M. et Gowman, L.M. (2009). « Implications of changing climate for global wildland fire ». *International Journal of Wildland Fire*, 18(5), 483–507. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF08187>>

Flannigan, M., Cantin, A.S., De Groot, W.J., Wotton, M., Newbery, A. et Gowman, L.M. (2013). « Global wildland fire season severity in the 21st century ». *Forest Ecology and Management*, 294, 54–61. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.022>>

Fournier, É. (2016). Peaufiner les observations pour mieux gérer et concevoir les infrastructures hydroélectriques. Étude de cas préparé pour la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 9 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/CaseStudy2_FR_final.pdf>

Furness, E. et Nelson, H. (2016). « Are human values and community participation key to climate adaptation? The case of community forest organisations in British Columbia ». *Climatic Change*, 135(2), 243–259. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-015-1564-2>>

Furrer, B., Hoffmann, V. et Marion S. (2009). « Banking and Climate Change: Opportunities and Risks ». SAM (Sustainable Asset Management), Zurich, 51 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://www.sustainabilitycompany.it/img/text/SAM_ETH_Study_Banking.pdf>

Fyfe, J., Derksen, C., Mudryk, L., Flate, G.M., Santer, B.D., Swart, N.C., Molotch, N.P., Zhang, X., Wan, H., Arora, V.K., Scinocca, J. et Jiao, Y. (2017). « Large near-term projected snowpack loss over the western United States ». *Nature Communications*, 8. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms14996>>

Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Pettigrew, B., Lefavre, D., Brickman, D., Devine, L., Lafleur, C. (2018). Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2017. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Document de recherche 2018/050, v + 79 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/mpo-dfo/fs70-5/Fs70-5-2018-050-fra.pdf>

Gatin, J. et Johnston, M. (2017). « State of Play Report: Forestry Adaptation Initiatives across Canada ». Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa.

Gauthier, S., Bernier, P. Y., Boulanger, Y., Guo, J., Guindon, L., Beaudoin, A. et Boucher, D. (2015). « Vulnerability of timber supply to projected changes in fire regime in Canada's managed forests ». *Canadian Journal of Forest Research*, 45(11), 1439–1447. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0079>>

Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P.J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., Jayen, K., Le Goff, H. et Nelson, E.A. (2014). « Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest ». *Environmental Reviews*, 22(3), 256–285. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2013-0064>>

Gazeau, F., Parker, L.M., Comeau, S., Gattuso, J.-P., O'Connor, W.A., Martin, S., Pörtner, H.-O. et Ross, P. (2013). « Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs ». *Marine Biology*, 160 (8), 2207–2245. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00227-013-2219-3>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012). Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique, Rapport spécial du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution de climat, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, et P.M. Midgley (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 582 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs, Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, et L.L. White (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 1–32. Consulté en juin 2020 sur le site <https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_fr.pdf>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2018). « Summary for Policymakers », dans *Global Warming of 1.5°C (An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty)*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, et T. Waterfield (éd.). Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 24 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019). « Summary for Policymakers », dans *Climate Change and Land (An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems)*, P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi et J. Malley (éd.). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>>

Gill, A.M., Stephens, S.L. et Cary, G.J. (2013). « The worldwide "wildfire" problem ». *Ecological Applications*, 23(2), 438–454. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/10-2213.1>>

Gledhill, D.K., White, M.M., Salisbury, J., Thomas, H., Mlsna, I., Liebman, M., Mook, B., Grear, J., Candelmo, A.C., Chambers, R.C., Gobler, C.J., Hunt, C.W. King, A.L., Price, N.N., Signorini, S.R., Stancioff, E., Stymiest, C., Wahle R.A., Waller, J.D., Rebeck, N.D., Wang, Z.A., Capson, T.L., Morrison, J.R., Cooley, S.R. et Doney, S.C. (2015). « Ocean and Coastal Acidification off New England and Nova Scotia ». *Oceanography*, 28(2), 182–197. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5670/oceanog.2015.41>>

Goertzen, S. (2018). « Agricultural Solutions to Climate Change: Findings from the Manitoba Agriculture Climate Initiative ». *Keystone Agricultural Producers*, 30 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://486d1ae5-bba6-4d54-8d48-301060955887.filesusr.com/ugd/b43985_b680623ee3504c099fc30c3ccf48d960.pdf>

Goodrick, S.L., Achtemeier, G.L., Larkin, N.K., Liu, Y. et Strand, T.M. (2013). « Modelling smoke transport from wildland fires: a review ». *International Journal of Wildland Fire*, 22(1), 83–94. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF11116>>

Gouvernement du Canada (2016). Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques : plan canadien de lutte contre les changements climatiques. 77 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/eccc/En4-294-2016-fra.pdf>

Gouvernement du Canada (2020). Évacuations lors des feux de forêt. Ressources naturelles Canada. Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/climate-change-impacts-forests/forest-change-indicators/wildland-fire-evacuations/17787>>

Gray, R. (2015). « The Economic Impacts of Elevated Export Basis Levels on Western Canadian Grain Producers 2012/13, 2013/14, and 2014/15 ». Rapport soumis à la Saskatchewan Wheat Development Commission. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://static1.squarespace.com/static/5c40f31a620b85cf0d073e7b/t/5cdd901fc9048b0001f4599d/1558024227090/The-Economic-Impacts-Of-Elevated-Export-Basis-Levels-On-Western-Canadian-Grain-Producers-2012-2015.pdf>>

Greenan, B.J.W., James, T.S., Loder, J.W., Pepin, P., Azetsu-Scott, K., Ianson, D., Hamme, R.C., Gilbert, D., Tremblay, J.-E., Wang, X.L. et Perrie, W. (2019a). Changements touchant les océans qui bordent le Canada. Chapitre 7 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 343–423. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/7-0/>>

Greenan, B.J.W., Shackell, N.L., Ferguson, K., Greyson, P., Cogswell, A., Brickman, D., Wang, Z., Cook, A., Brennan, C.E. et Saba, V.S. (2019b). « Climate Change Vulnerability of American Lobster Fishing Communities in Atlantic Canada ». *Frontiers in Marine Science*, 6, 579 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00579>>

Groulx, M., Lemieux, C., Dawson, J., Stewart, E. et Yudina, O. (2016). « Motivations to engage in last chance tourism in the Churchill wildlife management area and Wapusk National Park: The role of place identity and nature relatedness ». *Journal of Sustainable Tourism*, 24(11), 1523–1540. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1134556>>

Groulx, M., Lemieux, C.J., Lewis, J.L. et Brown, S. (2017). « Understanding consumer behaviour and adaptation planning responses to climate-driven environmental change in Canada's parks and protected areas: a climate futurescapes approach ». *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(6), 1016–1035. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1192024>>

Groupe de travail sur l'adaptation en agriculture (2016). « Barriers to Adaptation ». Série d'articles analytiques, article #2, élaboré dans le cadre de la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques.

Groupe de travail sur le Cadre de gestion des urgences fédéral, provincial et territorial (2016). Cadre de gestion des urgences en agriculture au Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 22 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.agr.gc.ca/production-animale/gestion-des-urgences-en-agriculture/cadre-de-gestion-des-urgences-en-agriculture-au-canada/?id=1471644257525>>

GTDFC [Groupe de travail sur la divulgation de l'information financière relative aux changements climatiques] (2017). « Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-Related Financial Disclosures ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.fsb-tcfd.org/publications/final-recommendations-report/>>

Guitttonny, M., Bussière, B., Maqsood, A., Proteau, A., Ben Khouya, T. et Botula, Y.D. (2018). Colonisation racinaire dans les recouvrements miniers et impact sur leur fonctionnement. Actes du 6e symposium sur les mines et l'environnement, June 2018, Rouyn-Noranda, Canada.

Guthrie, R.H., Mitchell, S.J., Lanquaye-Opoku, N. et Evans, S. G. (2010). « Extreme weather and landslide initiation in coastal British Columbia ». *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(4), 417–428. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-119>>

Hanes, C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M.-A., Little, J. et Flannigan, M. (2018). « Fire regime changes in Canada over the last half century ». *Canadian Journal of Forest Research*, 49(3), 256–269. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0293>>

Hatchett, B. et Eisen, H. (2018). « Early season snowpack loss and implications for over-snow vehicle recreation travel planning ». *The Cryosphere*. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5194/tc-2018-181>>

He, W., Yang, J.Y., Qian, B., Drury, C.F., Hoogenboom G., He, P., Lapen, D. et Zhou, W. (2018). « Climate change impacts on crop yield, soil water balance and nitrate leaching in the semiarid and humid regions of Canada ». *PLoS ONE*, 13(11), e0207370. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207370>>

Hedlund, J., Fick, S., Carlsen, H. et Benzie, M. (2018). « Quantifying transnational climate impact exposure: New perspectives on the global distribution of climate risk ». *Global Environmental Change*, 52, 75–85. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.04.006>>

Henstra, D. et Thistlethwaite, J. (2017). « Climate Change, Floods, and Municipal Risk Sharing in Canada ». IMFG Papers on Municipal Finance and Governance, No. 30, Institute on Municipal Finance and Governance, Toronto, 48 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://munkschool.utoronto.ca/imfg/uploads/373/1917_imfg_no_30_online_final.pdf>

Hewer, M. et Gough, W. (2018). « Thirty years of assessing the impacts of climate change on outdoor recreation and tourism in Canada ». *Tourism Management Perspectives*, 26, 179–192. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.07.003>>

Hirsch, K., Kafka, V., Tymstra, C., McAlpine, R., Hawkes, B., Stegehuis, H., Quintilio, S., Gauthier, S. et Peck, K. (2001). « Fire-smart forest management: a pragmatic approach to sustainable forest management in fire-dominated ecosystems ». *The Forestry Chronicle*, 77(2), 357–363. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5558/tfc77357-2>>

- Holubec, I. (2004). « Covers for Reactive Tailings Located in Permafrost Regions Review ». MEND Report 1.61. 6., Secteur des minéraux et des métaux, Ressources naturelles Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://mend-nedem.org/wp-content/uploads/1.61.4CoversPermafrostRegions.pdf>>
- Hope, E.S., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stocks, B.J. et Gauthier, S. (2016). « Wildfire suppression costs for Canada under a changing climate ». *PLoS ONE*, 11(8), e0157425. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157425>>
- Hotton, G., Bresson, É., Bussière, B., Pabst, T., Demers, I. et Roy, P. (2018). « Assessment of CCBE performance with climate change: case study of the Lorraine mine site ». Proceedings of the Tailings and Mine Waste 2018 Conference, Keystone, Colorado, USA.
- Hotton, G., Bussière, B., Pabst, T., Bresson, E. et Roy, P. (2019). « Influence of climate change on the ability of a cover with capillary barrier effects to control acid generation ». *Hydrogeology Journal*. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10040-019-02084-y>>
- Hori, Y., Gough, W.A., Butler, K. et Tsuji, L.J.S. (2017). « Trends in the seasonal length and opening dates of a winter road in the western James Bay region, Ontario, Canada ». *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3), 1309–1320. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10/gbq6qv>>
- Hrycik, A.R., Almeida, L.Z. et Höök, T.O. (2017). « Sub-lethal effects on fish provide insight into a biologically-relevant threshold of hypoxia ». *Oikos*, 126, 307–317. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/oik.03678>>
- Ignaciuk, A. et Mason-D’Croz, D. (2014). « Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture ». OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 70, OECD Publishing, Paris. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/5jxrcljnbxq-en>>
- IIDD [Institut international du développement durable] (2017). « Building a Climate-Resilient City: Electricity and information and communication technology infrastructure ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/library/building-climate-resilient-city-electricity-and-information-and-communication-technology>>
- ISO [International Standards Organization] (2018). ISO 31000:2018. Management du risque – Lignes directrices. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iso.org/fr/standard/65694.html>>
- Jaglom, W.S., McFarland, J.R., Colley, M.F., Mack, C.B., Venkatesh, B., Miller, R.L., Haydel, J., Schultz, P.A., Perkins, B., Casola, J.H., Martinich, J.A., Cross, P., Kolian, M.J. et Kayin, S. (2014). « Assessment of projected temperature impacts from climate change on the U.S. electric power sector using the Integrated Planning Model® ». *Energy Policy*, 73, 524–539. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.032>>
- Jakob, M. et Lambert, S. (2009). « Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia ». *Geomorphology*, 107(3–4), 275–284. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.009>>
- Jewiss-Gaines A, Barelli, L. et Hunter, F.F. (2017). « First Records of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae), a Known Vector of Bluetongue Virus, in Southern Ontario ». *Journal of Medical Entomology*, 54(3), 757–762. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/jme/tjw215>>
- Johnston, L.M., Wang, X., Erni, S., Taylor, S.W., McFayden, C.B., Oliver, J.A., Stockdale, C., Christianson, A., Boulanger, Y., Gauthier, S., Arseneault, D., Wotton, B.M., Parisien, M.-A. et Flannigan, M.D. (2020). « Wildland fire risk research in Canada ». *Environmental Reviews*, 28(2), 164–186. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2019-0046>>
- Johnston, M., Dawson, J., De Souza, E. et Stewart, E.J. (2017). « Management challenges for the fastest growing marine shipping sector in Arctic Canada: Pleasure crafts ». *Polar Record*, 53(1), 67–78. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247416000565>>
- Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J. et Bowman, D.M.J.S. (2015). « Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 ». *Nature Communications*, 6, 7537. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms8537>>
- Jones, R.N. et Preston, B.L. (2011). « Adaptation and risk management ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2), 296–308. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.97>>
- Keppel, E.A., Scrosati, R.A. et Courtenay, S.C. (2012). « Ocean acidification decreases growth and development in American lobster (*Homarus americanus*) larvae ». *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 44, 61–66. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2960/J.v44.m683>>
- Kirchmeier-Young, M.C., Zwiers, F.W., Gillett, N.P. et Cannon, A.J. (2017). « Attributing extreme fire risk in Western Canada to human emissions ». *Climatic Change*, 144, 365–379. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2030-0>>
- Kopytko, N. et Perkins, J. (2011). « Climate change, nuclear power, and the adaptation–mitigation dilemma ». *Energy Policy*, 39(1), 318–333. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.046>>
- Koutsoyiannis, D. (1999). « A probabilistic view of Hershfield’s method for estimating probable maximum precipitation ». *Water Resources Research*, 35(4), 1313–1322. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/1999WR900002>>

- Kovacs, P. et Thistlethwaite, J. (2014). Industrie, Chapitre 5 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 135–158. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie_Fra.pdf>
- Kroeker, K.J., Kordas, R., Crim, R. et Singh, G. (2010). « Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms ». *Ecology Letters*, 13(11), 1419–1434. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01518.x>>
- Kumar, K., Holtz, M. D., Xi, K. et Turkington, T.K. (2013). « Overwintering potential of the stripe rust pathogen (*Puccinia striiformis*) in central Alberta ». *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(3), 304–314. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07060661.2013.809385>>
- Kwiatkowski, K. (2017). « Modeling Climate Change Adaptation in Transportation Infrastructure Organizations ». Thèses et mémoires d'études supérieures en génie civil, University of Colorado, 184 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://pdfs.semanticscholar.org/67fa/017e57f7e6009dccbdfabca788a6f2e13c90.pdf>>
- Le Bris, A., Mills, K.E., Wahle, R.A., Chen, Y., Alexander, M.A., Allyn, A.J., Schuetz, J.G., Scott, J.D. et Pershing, A.J. (2018). « Climate vulnerability and resilience in the most valuable North American fishery ». *Proceedings of the National Academies of Sciences USA*, 115, 1831–1836. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1711122115>>
- Leduc, A., Bernier, P.Y., Mansuy, N., Raulier, F., Gauthier, S. et Bergeron, Y. (2015). « Using salvage logging and tolerance to risk to reduce the impact of forest fires on timber supply calculations ». *Canadian Journal of Forest Research*, 45(4), 480–486. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0434>>
- Lemelin, R. H., Dawson, J., Stewart, E.J., Maher, P. et Luck, M. (2010). « Last-chance tourism: The boom, doom, and gloom of visiting vanishing destinations ». *Current Issues in Tourism*, 13(5), 477–493. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13683500903406367>>
- Lemieux C. J., Groulx, M., Halpenny, E., Stager, H., Dawson, J., Stewart, E.J. et Hvenegaard, G.T. (2017). « The End of the Ice Age?: Disappearing World Heritage and the Climate Change Communication Imperative ». *Environmental Communication*, 12(5), 653–671. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17524032.2017.1400454>>
- Lemmen, D.S., Johnston, M., Ste-Marie, C. et Pearce, T. (2014). Ressources naturelles, Chapitre 3 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 65–98. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre3-Ressources-naturelles_Fra.pdf>
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., James, T.S. et Mercer Clarke, C.S.L. (éd.) (2016). Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 274 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391?_ga=2.3544816.1916456266.1604962435-747965453.1597699329>
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush E. (Eds.) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/what-adaptation/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada/10254?_ga=2.206512083.1916456266.1604962435-747965453.1597699329>
- Linnenluecke, M.K., Stathakis, A. et Griffiths, A. (2011). « Firm relocation as adaptive response to climate change and weather extremes ». *Global Environmental Change*, 21(1), 123–33. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.09.010>>
- Linnenluecke, M. et Smith, T. (2018). « Adaptation of MSMEs to Climate Change: A Review of the Existing Literature », dans *Private-Sector Action in Adaptation: Perspectives on the Role of Micro, Small and Medium Size Enterprises*, C. Schaer et N. Kuruppu (éd.). UNEP DTU Partnership, Copenhagen, 19–27. Consulté en juin 2020 sur le site <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/162053774/MSME_Adaptation_updated_WEB.pdf>
- Linnenluecke, M., Griffiths, A. et Winn, M.I. (2013). « Firm and Industry Adaptation to Climate Change: A Review of Climate Adaptation Studies in the Business and Management Field ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4, 397–416. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.214>>
- Liu, J.C., Mickley, L.J., Sulprizio, M.P., Dominici, F., Yue, X., Ebisu, K., Anderson, G.B., Khan, R.F.A, Bravo, M.A. et Bell, M.L. (2016). « Particulate air pollution from wildfires in the Western US under climate change ». *Climatic Change*, 138(3–4), 655–666. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1762-6>>
- Lynch, D.L. (2004). « What Do Forest Fires Really Cost? » *Journal of Forestry*, 102(6), 42–49. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/jof/102.6.42>>

- Lysyk, T.J. et Dergousoff, S.J. (2014). « Distribution of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) in Alberta, Canada ». *Journal of Medical Entomology*, 51, 560–571. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1603/ME13239>>
- Mailhot, A., Panthou, G. et Talbot, G. (2014). Recommandations sur les majorations à considérer dans les courbes Intensité-durée-Fréquence (IDF) aux horizons 2040–2070 et 2070–2100 pour l'ensemble du Québec, Phase II. Ministère du Transport du Québec, 36 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://espace.inrs.ca/id/eprint/2421/1/R001515.pdf>>
- Man, T. (2013). « Infrastructure Interdependencies Timelines ». The Royal Academy of Engineering, Royaume-Uni, 17 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.raeng.org.uk/publications/responses/etf-infrastructure-interdependencies-report>>
- Mantle314 (2019). « Climate Adaptation in Canada's Oil and Gas Sector: Planning to Thrive in a Changing World ». Rapport soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada.
- Marchal, J., Cumming, S.G. et McIntire, E.J. (2017). « Land cover, more than monthly fire weather, drives fire-size distribution in Southern Quebec forests: Implications for fire risk management ». *PLoS ONE*, 12(9), e0185515. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179294>>
- Marras, S., Cucco, A., Antognarelli, F., Azzurro, E., Milazzo, M., Bariche, M., Butenschön, M., Kay, S., Di Bitetto, M. et Quattrocchi, G. (2015). « Predicting future thermal habitat suitability of competing native and invasive fish species: from metabolic scope to oceanographic modelling ». *Conservation Physiology*, 3, 1–14. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/conphys/cou059>>
- Marshall, G.N., Schell, T.L., Elliott, M.N., Rayburn, N.R. et Jaycox, L.H. (2007). « Psychiatric Disorders Among Adults Seeking Emergency Disaster Assistance After a Wildland-Urban Interface Fire ». *Psychiatric Services*, 58(4), 509–514. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1176/ps.2007.58.4.509>>
- Mazzacurati, E. (2018). « Advancing TCFD Guidance on Physical Climate Risks and Opportunities ». Four Twenty Seven, Paris, 56 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://427mt.com/2018/05/31/report-advancing-tcfd-guidance-physical-climate-risk-opportunities/>>
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N., et Xu, Y. (2019). « Food Security », dans *Climate Change and Land (An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems)*, P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, et J. Malley (éd.). Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/08_Chapter-5.pdf>
- McBean, G. (2012). « Telling the Weather Story ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques et Bureau d'assurance du Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Studies/McBean_Report.pdf>
- McBoyle, G., Scott, D. et Jones, B. (2007). « Climate change and the future of snowmobiling in non-mountainous regions of Canada ». *Managing Leisure*, 12(4), 237–250. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13606710701546868>>
- McCaffrey, S., Rhodes, A. et Stidham, M. (2015). « Wildfire evacuation and its alternatives: perspectives from four United States' communities ». *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 170–178. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF13050>>
- McGee, T., McFarlane, B. et Tymstra, C. (2015). « Wildfire: A Canadian perspective », dans *Wildfire Hazards, Risks and Disasters*, D. Paton. Elsevier (éd.), 35–68.
- McKay, J. (2018). « Small Businesses Are a Vital Part of Community Resiliency but Often Overlook Vulnerabilities ». Government Technology. Consulté en juillet 2018 sur le site <<https://www.govtech.com/em/preparedness/Small-Businesses-Are-a-Vital-Part-of-Community-Resiliency-but-Often-Overlook-Vulnerabilities.html>>
- McKenney, D.W., Yemshanov, D., Pedlar, J., Allen, D., Lawrence, K., Hope, E., Lu, B. et Eddy, B. (2016). « Canada's Timber Supply: Current Status and Future Prospects Under a Changing Climate ». Centre de foresterie des Grands Lacs, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada.
- McLean, E.L., Katenka, N.V. et Seibel, B.A. (2018). « Decreased growth and increased shell disease in early benthic phase *Homarus americanus* in response to elevated CO₂ ». *Marine Ecology Progress Series*, 596, 113–126. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3354/meps12586>>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2012). Directive 019 sur l'industrie minière. 105 p. Consulté en juin 2020 sur le site <http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_ind/directive019/directive019.pdf>

- MNP (2017). « A Review of the 2016 Horse River Wildfire: Alberta Agriculture and Forestry Preparedness and Response ». Rapport préparé pour la Forestry Division, Alberta Agriculture and Forestry, Edmonton, Alberta. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.alberta.ca/assets/documents/Wildfire-MNP-Report.pdf>>
- Mori, A.S. et Johnson, E.A. (2013). « Assessing possible shifts in wildfire regimes under a changing climate in mountainous landscapes ». *Forest Ecology and Management*, 310, 875–886. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.036>>
- Morton, D.C., Roessing, M.E., Camp, A.E. et Tyrrell, M.L. (2003). « Assessing the environmental, social, and economic impacts of wildfire ». Global Institute of Sustainable Forestry Research Paper 001, Yale University, 59 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://gisf.yale.edu/sites/default/files/files/wildfire_report\(1\).pdf](https://gisf.yale.edu/sites/default/files/files/wildfire_report(1).pdf)>
- Mueter, F.J. et Litzow, M.A. (2008). « Sea ice retreat alters the biogeography of the Bering Sea continental shelf ». *Ecological Applications*, 18, 309–320. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/07-0564.1>>
- Nastev, M. et Aubertin, M. (2000). « Hydrogeological modelling for the reclamation work at the Lorraine mine site Québec ». 53^e conférence géotechnique canadienne et 1^{ère} conférence conjointe de l'IAHCNC et de la CGS sur les spécialités des eaux souterraines, Montréal, QC, Canada, 311–318.
- Nelson, H.W., Williamson, T.B., Macaulay, C. et Mahony, C. (2016). « Assessing the potential for forest management practitioner participation in climate change adaptation ». *Forest Ecology and Management*, 360, 388–399. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.038>>
- Nova Scotia Federation of Agriculture (2018). « Risk Proofing Nova Scotia's Agriculture: A Risk Assessment System Pilot (AgriRisk) ». Rapport finale, Bible Hill, Nova Scotia, 3–14. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://nsfa-fane.ca/wp-content/uploads/2018/08/Final-Report-for-AgriRisk-project-English.pdf>>
- Ochuodho, T.O. et Lantz, V.A. (2014). « Economic impacts of climate change in the forest sector: a comparison of single-region and multiregional CGE modeling frameworks ». *Canadian Journal of Forest Research*, 44(5), 449–464. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0317>>
- Office national de l'énergie (2016). Aperçu du marché : Feux à Fort McMurray : incidence sur la production de pétrole brut au pays. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/aperçu-marches/2016/aperçu-marche-feux-fort-mcmurray-incidence-production-petrole-brut-pays.html>>
- Office national de l'énergie (2017). Adoption des sources d'énergie renouvelable au Canada – Analyse des marchés de l'énergie. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/produits-base-energetiques/electricite/rapport/adoption-sources-energie-renouvelable-canada-2017/index.html>>
- Office national de l'énergie (2018). Avenir énergétique du Canada en 2018. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2018/index.html>>
- Ogden, N.H., Radojevic, M., Wu, X., Duvvuri, V.R., Leighton, P.A. et Wu, J. (2014). « Estimated Effects of Projected Climate Change on the Basic Reproductive Number of the Lyme Disease Vector *Ixodes scapularis* ». *Environmental Health Perspectives*, 122, 631–638. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/ehp.1307799>>
- Ohlson, D.W., Berry, T.M., Gray, R.W., Blackwell, B.A. et Hawkes, B.C. (2006). « Multi-attribute evaluation of landscape-level fuel management to reduce wildfire risk ». *Forest Policy and Economics*, 8(8), 824–837. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.01.001>>
- Olfert, O., Weiss, R.M. et Elliott, R.H. (2016). « Bioclimatic approach to assessing the potential impact of climate change on wheat midge (*Diptera: Cecidomyiidae*) in North America ». *The Canadian Entomologist*, 148, 52–67. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4039/tce.2015.40>>
- Olfert, O., Weiss, R.M., Elliott, R.H. et Soroka, J.J. (2017). « Bioclimatic approach to assessing the potential impact of climate change on two flea beetle (*Coleoptera: Chrysomelidae*) species in Canada ». *The Canadian Entomologist*, 149, 616–627. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4039/tce.2017.39>>
- Ontario Woodlot Association (2015). « Managing Your Forest in a Changing Climate ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ontariowoodlot.com/publications-and-links/owa-publications/landowner-guides/managing-your-forest-in-a-changing-climate-new>>
- Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE] (2015). « The Economic Consequences of Climate Change ». OECD Publishing, Paris. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264235410-en>>
- Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (2017). « The future of food and agriculture: Trends and challenge ». Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>>

- Ortiz, L., González, J.E. et Lin, W. (2018). « Climate change impacts on peak building cooling energy demand in a coastal megacity ». *Environmental Research Letters*, 13(9). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad8d0>>
- Orwig, K. (2016). « Strategies for funding wildfire mitigation ». *Risk Management*, 14+ p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA454786513&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00355593&p=AONE&sw=w>>
- Ouranos (2015). Sommaire de la Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec, édition 2015. 13 p.
- Ouranos (2016). Études de cas d'adaptation dans le secteur de l'énergie : Surmonter les obstacles à l'adaptation. Ouranos, Montréal, Québec. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-EtudeDeCas-FR.pdf>>
- Palko, K. (2017). Synthèse, dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 12–25. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-2f.pdf>>
- Palko, K. et Lemmen, D.S. (Eds.) (2017). Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016. Gouvernement du Canada, Ottawa, 309 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/risques-climatiques-et-pratiques-en-matiere-dadaptation-pour-le-secteur-canadien-des-transports-2016/19630?ga=2.37174240.1916456266.1604962435-747965453.1597699329>>
- Parker, L.M., Ross, P.M., O'Connor, W.A., Pörtner, H.-O., Scanes, E. et Wright, J.M. (2013). « Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification ». *Biology*, 2, 651–692. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/biology2020651>>
- Pearce, T., Ford, J.D., Prno, J. et Duerden, F. (2009). « Climate change and Canadian mining: opportunities for adaptation ». Fondation David Suzuki, 50 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://davidsuzuki.org/science-learning-centre-article/climate-change-canadian-mining-opportunities-adaptation/>>
- Pearce, T.D., Ford, J.D., Prno, J., Duerden, F., Pittman, J., Beaumier, M. et Smit, B. (2011). « Climate change and mining in Canada ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(3), 347–368. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-010-9269-3>>
- Pêches et Océans Canada (2018a). Pêches maritimes : valeur de la pêche commerciale de la côte atlantique, par région - 2016. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/commercial/land-debarq/sea-maritimes/s2016av-fra.htm>>
- Pêches et Océans Canada (2018b). Évaluation des stocks de crabe des neiges de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2018/047, 30 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40736829.pdf>>
- Pêches et Océans Canada (2018c). Évaluation des stocks de crevette nordique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2017. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2018/015, 17 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40708196.pdf>>
- Pêches et Océans Canada (2018d). Évaluation du stock de flétan du Groenland du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2017. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2018/035, 20 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40714007.pdf>>
- Pêches et Océans Canada (2018e). « Proceedings on the National Peer Review on Incorporating environmental and climate change considerations into population assessments in DFO's Science advisory process, May 8–9, 2018 ». Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO.
- Perry, E., Manning, R., Xiao, X., Valliere, W. et Reigner, N. (2018). « Social climate change: The advancing extirpation of snowmobilers in Vermont ». *Journal of Park and Recreation Administration*, 36, 31–51. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.18666/JPra-2018-V36-I2-8307>>
- Peter, B., Wang, S., Mogus, T. et Wilson, B. (2006). Risques d'incendies et tendances démographiques dans les zones d'interface au Canada, dans *Stratégie canadienne en matière de feux de forêt, synthèses générales, analyses et perspectives*, K.G. Hirsch et P. Fuglem (éd.), 37–48. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/26747.pdf>>
- Phillips, A. et Towns, W. (2017). Prairies, dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 105–137. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-5f.pdf>>

- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. et Travasso, M.I. (2014). « Food security and food production systems », dans *Changements climatiques 2014 – Conséquences, adaptation, et vulnérabilité, Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels, Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC*, C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 485–533. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf>
- Price, D.T., Alfaro, R.I., Brown, K.J., Flannigan, M.D., Fleming, R.A., Hogg, E.H., Girardin, M.P., Lakusta, T., Johnston, M., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stratton, T., Sturrock, R.N., Thompson, I.D., Trofymow, J.A. et Venier, L.A. (2013). « Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems ». *Environmental Reviews*, 21(4), 322–365. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2013-0042>>
- Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier (2012). « Cold Regions Cover System Design Technical Guidance Document ». Rapport 1.61.5c, Centre canadien de la technologie des minéraux et de la technologie. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://mend-nedem.org/wp-content/uploads/2013/01/1.61.5c.pdf>>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement [PNUE] (2012). « Business and Climate Change Adaptation: Toward Resilient Companies and Communities ». United Nations Global Compact Office, Genève, 4–50. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.unglobalcompact.org/docs/issues-doc/Environment/climate/Business_and_Climate_Change_Adaptation.pdf>
- Pryor, S.C. et Barthelmie, R.J. (2010). « Climate change impacts on wind energy: A review ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 430–437. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001713>>
- Qian, B., Jing, Q., Bélanger, G., Shang, J., Huffman, T., Liu, J. et Hoogenboom, G. (2018). « Simulated canola yield responses to climate change and adaptation in Canada ». *Agronomy Journal*, 110(1), 133–146. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2134/agronj2017.02.0076>>
- Qian, B., Zhang, X., Smith, W., Grant, B., Jing, Q., Cannon, A.J., Neilsen, D., McConkey, B., Li, G., Bonsal, B., Wan, H., Xue, L. et Zhao, J. (2019). « Climate change impacts on Canadian yields of spring wheat, canola and maize for global warming levels of 1.5 °C, 2.0 °C, 2.5 °C and 3.0 °C ». *Environmental Research Letters*, 14. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab17fb>>
- Quorum Corporation (2014). « Grain Supply Chain Study ». Grain Monitoring Program Supplemental Study, 107 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://grainmonitor.ca/Downloads/SupplementalReports/Grain%20Supply%20Chain%20Study%20-%20Report.pdf>>
- Quorum Corporation (2015). « Annual Report: 2013–2014 Crop Year ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://grainmonitor.ca/Downloads/AnnualReports/AnnualReport201314.pdf>>
- Raulier, F., Dhital, N., Racine, P., Tittler, R. et Fall, A. (2014). « Increasing resilience of timber supply: How a variable buffer stock of timber can efficiently reduce exposure to shortfalls caused by wildfires ». *Forest Policy and Economics*, 46, 47–55. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.06.007>>
- Raulier, F., Le Goff, H., Gauthier, S., Rapanoela, R. et Bergeron, Y. (2013). « Introducing two indicators for fire risk consideration in the management of boreal forests ». *Ecological Indicators*, 24, 451–461. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.023>>
- Reid, C. E., Brauer, M., Johnston, F.H., Jerrett, M., Balmes, J.R. et Elliott, C.T. (2016). « Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure ». *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1334–1343. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>>
- Reinecke, S. et Brodie, J. (2012). « Climate Change Impacts on Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Canadian Mines – Risks for Operation and Closure », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, Ottawa, 1–12.
- Ressources naturelles Canada (2017). L'État des forêts au Canada. Rapport annuel 2017. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/38872.pdf>>
- Ressources naturelles Canada (2018). Cahier d'information sur l'énergie, 2018-2019. Consulté en juin 2020 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/rncan-nrcan/M136-1-2018-fra.pdf>
- Ressources naturelles Canada (2019). Coûts de la protection contre les feux de forêt. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-fore/couts-protection-contre-feux-foret/17784?_ga=2.201096942.1952697342.1605019450-1885431934.1596554449>
- Resort Municipality of Whistler (2016). Community Energy and Climate Action Plan. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.whistler.ca/sites/default/files/related/cecacp_0_final.pdf>
- Revell, A., Stokes, D. et Chen, H. (2009). « Small businesses and the environment: turning over a new leaf? » *Business Strategy and the Environment*, 19(5), 273–288. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/bse.628>>

- Rijal, B., Raulier, F., Martell, D. L. et Gauthier, S. (2018). « The economic impact of fire management on timber production in the boreal forest region of Quebec, Canada ». *International Journal of Wildland Fire*, 27(12), 831–844. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF18041>>
- Roson, R. et Sartori, M. (2016). « Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP 9 Database ». *Journal of Global Economic Analysis*, 1(2), 78-115. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.010202AF>>
- Ross, T. (2016). « La Niña, the Blob and another warmest year », dans État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2015, P.C. Chandler, S.A. King et R.I. Perry (éd.). Rapports techniques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques, 3179, viii + 230 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40617944.pdf>>
- Rousseau, A.N., Klein, I.M., Freudiger, D., Gagnon, P., Frigon, A. et Ratté-Fortin, C. (2014). « Development of a methodology to evaluate probable maximum precipitation (PMP) under changing climate conditions: Application to southern Quebec, Canada ». *Journal of Hydrology*, 519, 3094–3109. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.053>>
- Rutty, M., Scott, D., Steiger, R., Johnson, P. et Pons, M. (2015). « The geography of skier adaptation to adverse conditions in the Ontario ski market ». *The Canadian Geographer*, 59(4). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/cag.12220>>
- Rutty, M., Scott, D., Johnson, P., Steiger, R., Pons, M. et Vilella, M. (2017). « Using ski industry response to climatic variability to assess climate change risk: An analogue study in Eastern Canada ». *Tourism Management*, 58, 196–205. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.10.020>>
- Samy, G.M., Samy, C.P. et Ammasaiappan, M. (2015). « Integrated management systems for better environmental performance and sustainable development – a review ». *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(5), 985–1000. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.13140/rg.2.2.35566.51528>>
- Sankey, S. (2018). Plan directeur pour une science des feux de forêt au Canada (2019-2029). Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Ressources naturelles Canada, Edmonton, 1–27. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfp8x8.cloudfront.net/pdfs/39430.pdf>>
- Sauchyn, D. et Kulshreshtha, S. (2008). Prairies, dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 275–328. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch7_f.pdf>
- Schaer, C. et Kuruppu, N. (Eds.) (2018). « Private-sector action in adaptation: Perspectives on the role of micro, small and medium size enterprises ». UNEP DTU Partnership, Copenhagen, 203 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/162053774/MSME_Adaptation_updated_WEB.pdf>
- Scharbach, J. et Waldram, J.B. (2016). « Asking for a disaster: being “at risk” in the emergency evacuation of a northern Canadian Aboriginal community ». *Human Organization*, 75(1), 59–70. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17730/0018-7259-75.1.59>>
- Schauberger, B., Archontoulis, S., Arneth, A., Balkovic, J., Ciaï, P., Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Khabarov, N., Müller, C., Pugh, T.A.M., Rolinski, S., Schaphoff, S., Schmid, E., Wang, X., Schlenker, W. et Frieler, K. (2017). « Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models ». *Nature Communications*, 8(13931). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms13931>>
- Schroeder, D. (2010). « Fire behaviour in thinned jack pine: two case studies of FireSmart treatments in Canada’s Northwest Territories ». FPInnovations, Eastern Region, Pointe-Claire, Quebec and Western Region, Vancouver, British Columbia. *Advantage Report*, 12(7), 12.
- Scott, D. et Steiger, R. (2013). « Vulnerability of the Ski Industry », dans *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*, R.A. Pielke (éd.). Elsevier Inc., Academic Press, 305–313.
- Scott, D., Hall, C.M. et Gössling, S. (2016). « A report on the Paris Climate Change Agreement and its implications for tourism: why we will always have Paris ». *Journal of Sustainable Tourism*, 2(7), 933–948. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1187623>>
- Scott, D., Jones, B. et Konopek, J. (2007). « Implications of climate and environmental change for nature-based tourism in the Canadian Rocky Mountains: A case study of Waterton Lakes National Park ». *Tourism Management*, 28(2), 570–579. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.04.020>>
- Scott, D., Gössling, S. et Hall, C.M. (2012). « International Tourism and Climate Change ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(3), 213–232. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.165>>

- Scott, D., Steiger, R., Ruty, M., Pons, M., Johnson, P. et Vilella, M. (2017). « The differential futures of ski tourism in Ontario (Canada) under climate change: the limits of snowmaking adaptation ». *Current Issues in Tourism*, 22(11), 1327-1342. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1401984>>
- Scott, D., Hall, C.M. et Gössling, S. (2019). « Global Tourism Vulnerability to Climate Change ». *Annals of Tourism Research*, 77, 49-61. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.05.007>>
- Scott, D., Steiger, R., Knowles, N. et Fang, Y. (2020). « Regional ski tourism risk to climate change: An inter-comparison of Eastern Canada and US Northeast markets ». *Journal of Sustainable Tourism* 28(4), 568-586. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1684932>>
- Shackell, N.L., Ricard, D. et Stortini, C. (2014). « Thermal Habitat Index of Many Northwest Atlantic Temperate Species Stays Neutral under Warming Projected for 2030 but Changes Radically by 2060 ». *PLoS ONE*, 9(3), e90662. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090662>>
- Shughrue, C. et Seto, K.C. (2018). « Systematic vulnerabilities of the global urban-industrial network to hazards ». *Climatic Change*, 151, 173-187. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2293-0>>
- Slawinski, N., Pinkse, J., Busch, T. et Banerjee, S.B. (2017). « The role of short-termism and uncertainty avoidance in organizational inaction on climate change: A multi-level framework ». *Business and Society*, 56(2), 253-82. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0007650315576136>>
- Spittlehouse, D.L. (2005). « Integrating climate change adaptation into forest management ». *The Forestry Chronicle*, 81(5), 691-695. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5558/tfc81691-5>>
- Stantec Consulting Limited (2012). « Preliminary assessment report, Canadian Beaufort Sea Region ». Rapport préparé pour Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Ottawa, Ontario, 1-171.
- Statistique Canada (2017). Infographie : Répercussions économiques du feu de forêt de 2016 à Fort McMurray. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/11-627-m/11-627-m2017007-fra.pdf?st=eOjpCYf3>>
- Stewart, E.J., Dawson, J. et Draper, D. (2011). « Cruise tourism and residents in Arctic Canada: Development of a resident attitude typology ». *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 18(1), 95-106. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1375/jhtm.18.1.95>>
- Stortini, C.H., Shackell, N.L., Tyedmers, P. et Beazley, K. (2015). « Assessing marine species vulnerability to projected warming on the Scotian Shelf, Canada ». *ICES Journal of Marine Science*, 72, 1731-1743. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst022>>
- Stortini, C.H., Chabot, D. et Shackell, N.L. (2017). « Marine species in ambient low-oxygen regions subject to double jeopardy impacts of climate change ». *Global Change Biology*, 23, 2284-2296. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/gcb.13534>>
- Stratégie du ministère de l'Environnement et des changements climatiques de la Colombie-Britannique (2019). « Preliminary Strategic Climate Risk Assessment for British Columbia ». Rapport préparé pour le gouvernement de la Colombie-Britannique, Victoria, Colombie-Britannique. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/adaptation/risk-assessment>>
- Stratos (2009). « Climate change impacts on mining operations and infrastructure ». Rapport préparé pour le Centre for Excellence in Mining Innovation. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.miningexcellence.ca>>
- Stratos (2017). « Mining State of Play: Climate Change Adaptation in the Canadian Mining Sector ». Rapport soumis à la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques, Groupe de travail sur l'exploitation minière, 57 p.
- Stratz, S.A. et Hossain, F. (2014). « Probable maximum precipitation in a changing climate: Implications for dam design ». *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(12). Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001021](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001021)>
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J. et Woods, A.J. (2011). « Climate change and forest diseases ». *Plant Pathology*, 60(1), 133-149. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>>
- Subedi, N., Taylor, S. et Peter, B. (2016). « Increasing threats of mega-fires on the WUI communities of Canada ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.wildlandfire2016.ca/wp-content/uploads/2017/05/Mega-fire-presentation-Nirmal-Subedi.pdf>>
- Sudhakar, A., Chan, C., Bonham-Carter, C. et Smith, M. (2017). « C40 Infrastructure Interdependencies and Climate Risks Report », 1-26.
- Sulla-Menashe, D., Woodcock, C.E. et Friedl, M.A. (2018). « Canadian boreal forest greening and browning trends: An analysis of biogeographic patterns and the relative roles of disturbance versus climate drivers ». *Environmental Research Letters*, 13(1). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9b88>>

- Surminski, S. et Hankinson, J. (2018). « MSMEs, climate change risks and insurance: reflections on the use of insurance for climate adaptation », dans *Private-sector action in adaptation: Perspectives on the role of micro, small and medium size enterprises*, C. Schaer et N. Kuruppu (éd.). UNEP DTU Partnership, Copenhagen, 65–78. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://unepdtu.org/wp-content/uploads/2018/04/msme-adaptation-updated-web.pdf>>
- Sveinsson, O.G.B. (2015). « Case study: Influence of climate change on hydropower in Iceland », dans *Resilience of hydropower and dams to climate change and natural disasters*. International Hydropower Association, World Bank Group. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.hydropower.org/sites/default/files/OliSveinssonLandsvirkjun.pdf>>
- Swiss Re Institute (2018). « Natural catastrophes and man-made disasters in 2017: a year of record-breaking losses ». SIGMA No 1, Zurich. Consulté en juin 2020 sur le site <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/sigma1_2018_en.pdf>
- Taylor, A.R., Boulanger, Y., Price, D.T., Cyr, D., McGarrigle, E., Rammer, W. et Kershaw, J.A. (2017). « Rapid 21st century climate change projected to shift composition and growth of Canada's Acadian Forest Region ». *Forest Ecology and Management*, 405, 284–294. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.033>>
- Tercek, M. et Rodman, A. (2016). « Forecasts of 21st century snowpack and implications for snowmobile and snowcoach use in Yellowstone National Park ». *PLoS ONE*, 11(7). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159218>>
- Tett, S.F.B., Falk, A., Rogers, M., Spuler, F., Turner, C., Wainwright, J., Dimdore-Miles, O., Knight, S., Freychet, N., Mineter, M.J. et Lehmann, C.E.R. (2017). « Anthropogenic forcings and associated changes in fire risk in western North America and Australia during 2015/16 », dans *Explaining Extreme Events of 2016 from a Climate Perspective. Bulletin of the American Meteorological Society*, 98, S60–S64. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0096.1>>
- The Globe and Mail (2018). « "It's devastating to see": How a rail line crisis is threatening Churchill, Manitoba ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.theglobeandmail.com/politics/article-churchill-man-residents-angry-and-frustrated-as-solutions-to-rail>>
- Thistlethwaite, J. (2016). « The Emergence of Flood Insurance in Canada: Navigating Institutional Uncertainty ». *Risk Analysis*, 37(4), 744–755. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/risa.12659>>
- Thistlethwaite, J. et Wood, M. (2018). « Insurance and Climate Change Risk Management: Rescaling to Look Beyond the Horizon ». *British Journal of Management*, 29(2), 279–298. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/1467-8551.12302>>
- Thistlethwaite, J., Henstra, D., Peddle, S. et Scott, D. (2017). « Canadian Voices on Changing Flood Risk: Findings from a National Survey ». University of Waterloo, Waterloo, Ontario. Consulté en juin 2020 sur le site <https://uwaterloo.ca/climate-centre/sites/ca.climate-centre/files/uploads/files/canadian_voices_on_changing_flood_risk_fnl.pdf>
- Toth, K. (2018). « Grounded cruise ship rescue in Nunavut cost Canada's Armed Forces \$513K ». CBC News. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/north/rcaf-akademik-ioffe-expensive-1.4810589>>
- Townhill, B.L., Pinnegar, J.K., Righton, D.A. et Metcalfe, J.D. (2016). « Fisheries, low oxygen and climate change: how much do we really know? » *Journal of Fish Biology*, 90, 723–750. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfb.13203>>
- Transport Canada (2017). *Les Transports au Canada 2017, Un survol*. Transport Canada, Ottawa, 58 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/les_transports_au_canada_2017nwf.pdf>
- Tremblay, M.J. (1997). « Snow crab (*Chionoecetes opilio*) distribution limits and abundance trends on the Scotian Shelf ». *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 21, 7–22. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2960/J.v21.a1>>
- TRNEE [Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie] (2011). « Paying the price: the economic impacts of climate change for Canada (Vol. 4) ». National Round Table on the Environment and the Economy, Ottawa, Canada.
- van Lierop, P., Lindquist, E., Sathyapala, S. et Franceschini, G. (2015). « Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events ». *Forest Ecology and Management*, 352, 78–88. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.010>>
- Vick, S.G. (2001). « Stability aspects of long-term closure for sulphide tailings », dans *Seminar on Safe Tailings Dam Constructions*, Gallivare, 20–21.
- Ville de Surrey (2018). « CFAS Primer Part 1: Coastal Flooding in Surrey ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.surrey.ca/files/CFAS-Primerpart1.pdf>>
- Waldbusser, G.G., Hales, B., Langdon, C.J., Haley, B.A., Schrader, P., Brunner, E.L., Gray, M.W., Miller, C.A. et Gimenez, I. (2015). « Saturation-state sensitivity of marine bivalve larvae to ocean acidification ». *Nature Climate Change*, 5, 273–280. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2479>>

- Waller, J.D., Wahle, R.A., McVeigh, H. et Fields, D.M. (2017). « Linking rising pCO₂ and temperature to the larval development and physiology of the American lobster (*Homarus americanus*) ». *ICES Journal of Marine Science*, 74, 1210–1219. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw154>>
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S. (Eds.) (2014). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*. Gouvernement du Canada, Ottawa, 286 p. Consulté en juin 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?_ga=2.7844978.1952697342.1605019450-1885431934.1596554449>
- Weber, M., Groulx, M., Lemieux, C., Scott, D. et Dawson, J. (2019). « Balancing the dual mandate of conservation and visitor use at a Canadian world heritage site in an era of rapid climate change ». *Journal of Sustainable Tourism*, 27(9), 1318–1337. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1620754>>
- Wedawatta, G. et Ingirige, B. (2016). A conceptual framework for understanding resilience of construction SMEs to extreme weather events. *Built Environment Project and Asset Management*, 6(4), 428–43. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1108/BEPAM-06-2015-0023>>
- Western Power Distribution (2011). *Western Power Distribution Adaptation to Climate Change Report*. 23 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.westernpower.co.uk/downloads/4117>>
- Whitman, E., Parisien, M., Thompson, D.K. et Flannigan, M.D. (2019). « Short-interval wildfire and drought overwhelm boreal forest resilience ». *Scientific Reports*, 9, 18796. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-55036-7>>
- Williams, S. et Schaefer, A. (2013). « Small and Medium-Sized Enterprises and Sustainability: Managers' Values and Engagement with Environmental and Climate Change Issues ». *Business Strategy and the Environment*, 22(3), 173–186. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/bse.1740>>
- Williamson, T.B., Colombo, S.J., Duinker, P.N., Gray, P.A., Hennessey, R.J., Houle, D., Johnston, M., Ogden, A. et Spittlehouse, D.L. (2009). *Les changements climatiques et les forêts du Canada : des impacts à l'adaptation*. Réseau de gestion durable des forêts et Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Ressources naturelles Canada, Edmonton, 58 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfp8x.cloudfront.net/pdfs/29617.pdf>>
- Wilson, R.E. et Swanson, R.L. (2005). « A perspective on bottom water temperature anomalies in Long Island Sound during the 1999 lobster mortality event ». *Journal of Shellfish Research*, 24, 825–830. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2005\)24\[825:APOBWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2005)24[825:APOBWT]2.0.CO;2)>
- Wilson, G.W., Plewes, H.D., Williams, D. et Robertson, J. (2003). « Concepts for co-mixing of tailings and waste rock », dans *Proceedings of 6th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, dans *Application and Sustainability of Technologies*, Cairns, Australia, T. Farrell et G. Taylor (éd.). Australian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Australia, 437–443.
- Wotton, B.M., Flannigan, M.D. et Marshall, G.A. (2017). « Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada ». *Environmental Research Letters*, 12(9). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7e6e>>
- Wotton, B.M., Nock, C.A. et Flannigan, M.D. (2010). « Forest fire occurrence and climate change in Canada ». *International Journal of Wildland Fire*, 19(3), 253–271. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF09002>>
- Xi, K., Kumar, K., Holtz, M.D., Turkington, T.K. et Chapman, B.P. (2015). « Understanding the development and management of stripe rust in central Alberta ». *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37, 21–39. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07060661.2014.981215>>
- Youcef, W.A., Lambert, Y. et Audet, C. (2015). « Variations in length and growth of Greenland Halibut juveniles in relation to environmental conditions ». *Fisheries Research*, 167, 38–47. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.01.007>>
- Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V.V. (2019). Les changements de température et de précipitations au Canada, Chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 112–193. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/4-0/>>
- Zhang, Y., Chen, W.J. et Riseborough, D.W. (2008a). « Disequilibrium response of permafrost thaw to climate warming in Canada over 1850–2100 ». *Geophysical Research Letters*, 35, L02502. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2007GL032117>>
- Zhang, Y., Chen, W.J. et Riseborough, D.W. (2008b). « Transient projections of permafrost distribution in Canada during the 21st century under scenarios of climate change ». *Global and Planetary Change*, 60(3), 443–456. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.05.003>>



Zheng, J. et Kruse, G.H. (2000). « Recruitment patterns of Alaskan crabs in relation to decadal shifts in climate and physical oceanography ». *ICES Journal of Marine Science*, 57(2), 438–451. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0521>>

Zisserson, B. et Cook, A. (2017). « Impact of bottom water temperature change on the southernmost snow crab fishery in the Atlantic Ocean ». *Fisheries Research*, 195, 12–18. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.06.009>>

Zorn, C., Thacker, S., Pant, R. et Shamseldin, A. (2016). « The Dependence of National Transportation Infrastructure on Electricity ». University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. Consulté en juin 2020 sur le site <https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/12780/POSTER%20-%20Zorn_DependenceTrnsptInfrastructureElect_QCAM_2016.pdf?sequence=1>

Zuliani, A., Massolo, A., Lysyk, T., Johnson, G., Marshall, S., Berger, K. et Cork, S.C. (2015). « Modelling the Northward Expansion of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) under Future Climate Scenarios ». *PLoS ONE*, 10(8), e0130294. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130294>>



CHAPITRE 8

Divulgation,
litiges et aspects
financiers liés
aux changements
climatiques

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteur coordonnateur principal

Paul Kovacs, Institut de prévention des sinistres catastrophiques

Auteurs principaux

Gordon Beal, CPA Canada

Maryam Golnaraghi, Ph. D., The Geneva Association

Patricia Koval, J.D., Directrice d'entreprises

Gordon McBean, Ph. D., Université Western et Institut de prévention des sinistres catastrophiques

Bohan Li, Ph. D., Institut de prévention des sinistres catastrophiques

Citation recommandée

Kovacs, K., Beal, G., Golnaraghi, M., Koval, P., McBean, G. et Li, B. (2021) : Divulcation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques; chapitre 8 dans *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario.

Table des matières

Messages clés	645
8.1 Introduction	647
8.1.1 Initiatives internationales	647
8.1.2 Initiatives canadiennes	648
8.2 Les risques et les occasions liés aux changements climatiques sont des enjeux commerciaux	649
8.2.1 Une sensibilisation accrue aux risques et aux occasions liés aux changements climatiques	649
8.3 La divulgation relative aux changements climatiques stimule la lutte contre les changements climatiques	652
8.3.1 Importance de la divulgation relative aux changements climatiques	653
8.3.2 Divulgation obligatoire au Canada	654
8.3.3 Divulgation volontaire	655
8.3.4 Pratiques émergentes	658
8.3.5 Occasions d'amélioration : lacunes en matière de données et de méthodologie	658
8.4 La transition vers une économie à faibles émissions de carbone et résiliente aux changements climatiques nécessite des investissements importants	660
8.4.1 Avantages connexes du financement de l'adaptation et de la réduction des émissions de GES	660
8.4.2 Portée de la transition	661
8.4.3 Mécanismes de financement pour l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des émissions de GES	663
8.4.4 Défis des investissements liés aux changements climatiques	665
8.5 Les investissements dans la réduction des risques climatiques renforcent la résilience	668
8.5.1 Les investissements dans la résilience aux changements climatiques sont rentables	668
8.5.2 Gestion des risques liés aux extrêmes climatiques et aux activités connexes au Canada	671
8.6 Les litiges relatifs aux changements climatiques se multiplient contre les gouvernements au Canada	676
8.6.1 Introduction	676
8.6.2 Litiges visant à contraindre le gouvernement à agir	677
8.6.3 Litiges visant à modifier les actions, approbations ou décisions du gouvernement	680
8.6.4 Litiges liés au manquement à adapter les infrastructures	681
8.7 Les litiges relatifs aux changements climatiques contre le secteur privé sont un risque potentiel	683
8.7.1 Responsabilité potentielle en matière de divulgation	683



8.7.2 Litiges potentiels liés au manquement à adapter les infrastructures	685
8.7.3 Litiges portant sur la responsabilité des entreprises en matière de changements climatiques	685
8.8 Aller de l'avant	688
8.8.1 Lacunes dans les connaissances	688
8.9 Conclusion	689
8.10 Références	691

Messages clés

Les risques et les occasions liés aux changements climatiques sont des enjeux commerciaux (voir la section 8.2)

La majorité des industries et des secteurs au Canada sont exposés aux risques climatiques et aux occasions qui en découlent, lesquels devraient augmenter avec le temps. Ces risques et ces occasions sont de plus en plus reconnus comme des enjeux commerciaux, ce qui incite les entreprises à contribuer à la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone.

La divulgation relative aux changements climatiques stimule la lutte contre les changements climatiques (voir la section 8.3)

Une plus grande divulgation financière des risques et occasions liés aux changements climatiques permettra de guider et d'améliorer les mesures visant à réduire les impacts des changements climatiques. Les orientations relatives à la divulgation de renseignements sur les changements climatiques évoluent et sont de plus en plus adoptées.

La transition vers une économie à faibles émissions de carbone et résiliente aux changements climatiques nécessite des investissements importants (voir la section 8.4)

Il existe une importante lacune en matière de financement pour la transition vers une économie à faibles émissions de carbone et résiliente aux changements climatiques au Canada. D'importants capitaux publics et privés sont nécessaires pour combler cette lacune, mais des obstacles limitent les possibilités d'attirer la quantité de capitaux adéquate.

Les investissements dans la réduction des risques climatiques renforcent la résilience (voir la section 8.5)

Les investissements dans la résilience aux catastrophes ont démontré leur efficacité pour réduire l'exposition aux risques climatiques physiques. Les gouvernements, les entreprises et les personnes ont la possibilité d'améliorer leur résilience aux risques climatiques physiques afin de rompre la tendance à l'augmentation des pertes et des dommages causés par les phénomènes climatiques.

Les litiges relatifs aux changements climatiques se multiplient contre les gouvernements au Canada (voir la section 8.6)

Au Canada, les litiges relatifs aux changements climatiques se multiplient contre les gouvernements et leurs organismes. Il y a de plus en plus de litiges visant à contraindre ou à modifier les mesures, les autorisations ou les décisions gouvernementales, ainsi que des poursuites judiciaires visant à obtenir des compensations financières liées au fait que les infrastructures n'ont pas été adaptées.

Les litiges relatifs aux changements climatiques contre le secteur privé sont un risque potentiel (voir la section 8.7)

Bien qu'il n'y ait eu pratiquement aucun litige relatif aux changements climatiques au Canada contre des entreprises du secteur privé, les entreprises canadiennes évaluent de plus en plus les risques potentiels de litiges relatifs aux changements climatiques.

8.1 Introduction

Les changements climatiques sont désormais largement reconnus comme un enjeu environnemental et économique. La plupart des industries et des gouvernements sont exposés aux risques liés aux changements climatiques. Ce chapitre examine les enjeux changeants de la divulgation, des litiges et des aspects financiers aux changements climatiques pour les entreprises et les gouvernements. En raison de la nature de ces sujets, la quantité de documentation évaluée par les pairs est limitée, en particulier en ce qui concerne le Canada. Ce chapitre s'appuie donc davantage sur des sources de renseignements primaires et moins sur l'évaluation de la littérature universitaire que les autres chapitres de ce rapport.

8.1.1 Initiatives internationales

En 2015, les États membres des Nations Unies ont adopté trois conventions-cadres internationales relatives aux changements climatiques et aux risques climatiques : l'Accord de Paris (Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, 2015), le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (Organisation des Nations Unies, 2015) et l'Agenda 2030 pour le développement durable (Objectifs de développement durable, 2015). Ces conventions soulignent l'importance de prendre en compte les changements climatiques et la réduction des risques de catastrophes pour concevoir des voies de développement durables et résilientes.

Alors que les discussions politiques sur les changements climatiques soulignent la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et de s'adapter pour mieux faire face aux impacts des phénomènes extrêmes, le milieu des affaires accorde une attention croissante à la gestion des risques physiques et des risques liés à la transition, comme l'a énoncé le Groupe de travail sur les divulgations financières liées aux changements climatiques (GTDFC) du Conseil de stabilité financière, dirigé par l'industrie (GTDFC, 2017). Ces risques sont définis comme suit :

- **Risques physiques** : Phénomènes extrêmes ou changements à long terme dans les régimes climatiques qui peuvent endommager des biens ou des infrastructures, porter atteinte aux chaînes d'approvisionnement, aux besoins de transport, au commerce et à la sécurité des employés, ou avoir d'autres impacts sur ces éléments.
- **Risques de transition** : Risques financiers et risques liés à la réputation qui peuvent découler de changements politiques, juridiques, technologiques et des marchés pour répondre aux besoins en matière de réduction des émissions de GES et d'adaptation liés aux changements climatiques.

En plus de ces risques, le GTDFC a recensé de nouvelles occasions pour les organisations qui découlent de leurs efforts pour atténuer les effets des changements climatiques et s'y adapter. En effet, l'efficacité des ressources et les économies de coûts, l'adoption de sources d'énergie à faibles émissions, le développement de nouveaux produits et services, l'accès à de nouveaux marchés et le renforcement de la résilience tout au long de la chaîne d'approvisionnement sont autant d'occasions qui pourraient se présenter. Les risques et les occasions varient en fonction de la région, du marché et du secteur dans lesquels une organisation opère (GTDFC, 2017).

Les recommandations finales du GTDFC publiées en juin 2017 (GTDFC, 2017) et ses rapports annuels ultérieurs confirment que les changements climatiques « touchent presque tous les secteurs économiques », bien qu'à des degrés différents. Le GTDFC soutient qu'il est nécessaire d'intégrer les risques et les occasions aux changements climatiques à la gouvernance organisationnelle et à la divulgation des renseignements sur les changements climatiques aux investisseurs. La gestion des risques et des occasions liées aux changements climatiques pourrait modifier la capacité d'une entreprise à accéder à du capital, à fournir des produits et des services, à recruter et à maintenir en poste des employés ainsi qu'à obtenir des résultats financiers positifs. Pour les investisseurs, la divulgation de renseignements par les entreprises fournit des données qui facilitent la prise de décisions d'investissement éclairées.

Plusieurs pays, dont le Canada, ont commencé à réaligner leur secteur financier et à élaborer un cadre de financement « durable » qui soutient la résilience aux changements climatiques et la transition vers une économie à faibles émissions de carbone, y compris une « transition juste ». Parmi les exemples figurent des initiatives au Royaume-Uni (Green Finance Taskforce, 2018) et en Australie (Australian Sustainable Finance Initiative, 2019). Ces initiatives et bien d'autres sont complétées par des activités mondiales sur les marchés financiers et des capitaux, la création de coalitions d'investisseurs, l'évolution des attitudes des actionnaires et les mesures prises par les agences de notation pour intégrer les risques climatiques dans leurs notations de crédit des États, des municipalités et des entreprises (Golnaraghi, 2019a, b; The Geneva Association, 2018a).

8.1.2 Initiatives canadiennes

Le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, publié en 2016, établit un plan national sur les changements climatiques à l'échelle du Canada. Le Cadre présente une stratégie pour « faire croître l'économie du pays tout en réduisant les émissions et en développant nos capacités d'adaptation face à l'évolution du climat » (Gouvernement du Canada, 2016, p. i). En 2019, le Groupe d'experts sur la finance durable a émis ses recommandations visant à encourager les activités, les comportements et les structures des marchés destinés à soutenir le financement durable au Canada. Il s'agit, entre autres, de recommandations visant à mettre en place des sources de renseignements sur le climat faisant autorité au Canada, à encourager une plus grande mise en œuvre du GTDFC et à intégrer les risques climatiques dans le suivi, la réglementation et la supervision du système financier canadien (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019).

8.2 Les risques et les occasions liés aux changements climatiques sont des enjeux commerciaux

La majorité des industries et des secteurs au Canada sont exposés aux risques climatiques et aux occasions qui en découlent, lesquels devraient augmenter avec le temps. Ces risques et ces occasions sont de plus en plus reconnus comme des enjeux commerciaux, ce qui incite les entreprises à contribuer à la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone.

Des phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents et plus intenses ainsi que des changements progressifs de certaines variables, comme le niveau de la mer et le pergélisol, présentent des risques de dommages physiques aux biens privés et aux infrastructures publiques, ce qui se traduit par des risques importants ayant des implications financières pour les entreprises. Les entreprises doivent également gérer activement la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone, ce qui implique des changements en ce qui concerne la demande des consommateurs, les technologies et les politiques gouvernementales. En gérant ces risques et en saisissant les occasions qui se présentent, les entreprises peuvent contribuer de manière importante à l'effort d'adaptation aux changements climatiques.

8.2.1 Une sensibilisation accrue aux risques et aux occasions liés aux changements climatiques

Les risques liés aux changements climatiques sont de plus en plus évidents pour les entreprises et les gouvernements et de nombreuses entreprises sont très préoccupées par les risques climatiques (Forum économique mondial, 2020). En effet, l'échec de la lutte aux changements climatiques est classé comme le risque numéro un en termes de probabilité et d'impact dans le Rapport sur les risques mondiaux de 2020 (voir la figure 8.1). D'autres risques liés aux changements climatiques, notamment les phénomènes météorologiques extrêmes, les catastrophes naturelles, la perte de biodiversité et les crises liées à l'eau, occupent également une place importante.

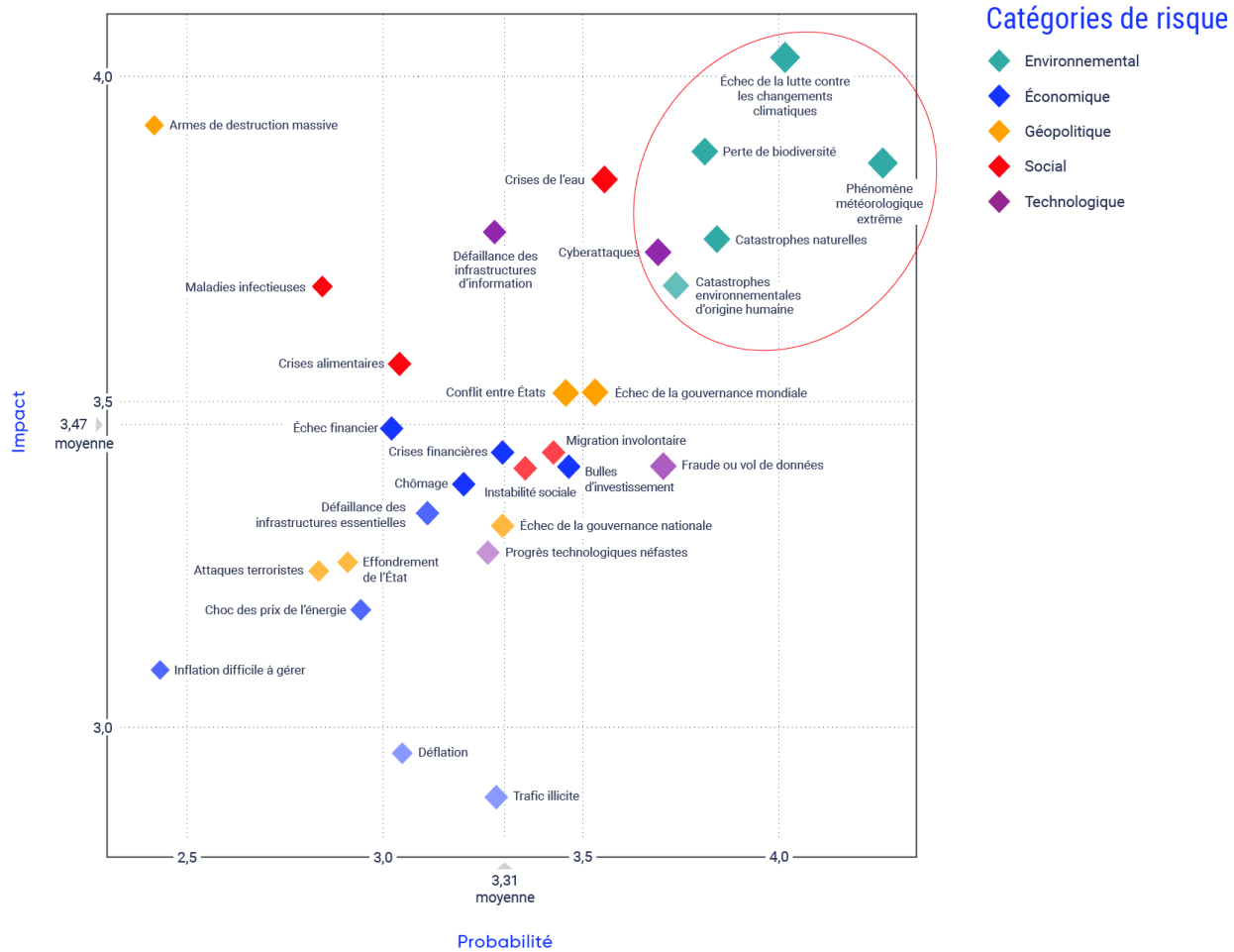


Figure 8.1 : Résultats de l'enquête sur la perception des risques mondiaux du Forum économique mondial (2019–2020). Les risques sont classés sur une échelle de 1 à 5 selon la probabilité perçue et l'impact perçu. Les risques environnementaux se classent parmi les plus élevés, aussi bien en termes de probabilité que d'impact. Source : Adapté de Forum économique mondial, 2020.

D'autres rapports d'évaluation reflètent également l'ampleur des risques liés aux changements climatiques. Le [Rapport sur le climat changeant du Canada](#) conclut que « les effets du réchauffement généralisé sont évidents dans de nombreuses régions du Canada et il est prévu qu'ils s'intensifieront dans le futur » (Bush et Lemmen, 2019). Le Conseil des académies canadiennes (CAC) note qu'en plus du réchauffement des températures, il y a eu « des vagues de chaleur plus fréquentes, des changements dans le régime des précipitations, une réduction de la couverture de neige et de glace, la fonte du pergélisol, le rétrécissement et l'amincissement de la glace de mer arctique et des changements dans le débit des cours d'eau, qui ont tous des impacts étendus sur les systèmes naturels et humains. On prévoit que les effets du réchauffement s'intensifieront avec le temps » (CAC, 2019, p. ix). Compte tenu de ces changements, le rapport du CAC a relevé 12 grands domaines de risques liés aux changements climatiques auxquels le Canada est exposé et qui pourraient entraîner des pertes, des dommages ou des perturbations considérables au cours des 20 prochaines années. Les risques les plus graves concernent les infrastructures physiques, les collectivités côtières, les collectivités du Nord, la santé et le bien-être des êtres humains, les écosystèmes et les pêches.

Les entreprises du Canada et d'ailleurs dans le monde cherchent à comprendre comment les changements climatiques modifieront le paysage des risques et des occasions pour elles et leurs intervenants (Forum économique mondial, 2020; GTDFC, 2017). Les phénomènes météorologiques extrêmes et les tendances climatiques qui se manifestent de manière plus progressive présentent des risques pour toutes les entreprises et leurs chaînes d'approvisionnement, en particulier pour les actifs matériels, et pour les entreprises qui dépendent des infrastructures publiques ou privées pour la livraison de matières premières, d'intrants ou de produits finis. Un climat en changement peut également présenter des risques à la santé et à la sécurité des employés. De plus, il peut y avoir des impacts indirects pour les entreprises, notamment des changements dans les routes commerciales mondiales, dans la productivité agricole ou dans la disponibilité de l'eau et d'autres ressources naturelles. Les répercussions financières des impacts physiques directs et indirects sur une entreprise canadienne peuvent comprendre une diminution des revenus (p. ex. les pertes découlant des interruptions d'activité, la réduction du rendement des actifs ou la diminution de la demande des consommateurs), une augmentation des coûts d'exploitation (p. ex. pour les réparations, l'augmentation des coûts de l'énergie pour les vagues de chaleur et les répercussions négatives sur la main-d'œuvre), une augmentation des dépenses en capital (p. ex. le coût des réparations des infrastructures endommagées ou le déménagement temporaire ou permanent vers de nouveaux sites et l'équipement pour ceux-ci), le retrait anticipé des actifs ainsi que le coût plus élevé et l'accès plus limité aux capitaux et aux assurances.

Par exemple, l'industrie des assurances a adapté ses pratiques en réponse à la valeur croissante de demandes d'indemnisation pour dommages dus à des phénomènes météorologiques violents, notamment en investissant dans des modèles d'évaluation et de tarification des risques de catastrophes et dans diverses autres technologies afin d'améliorer sa capacité à accélérer l'évaluation et le paiement des indemnités après une catastrophe. L'industrie a mis sur pied des centres d'excellence sur l'adaptation aux changements climatiques et travaille en étroite collaboration avec les universités canadiennes sur la recherche en matière d'adaptation et sur les conseils pratiques à l'intention des personnes, des ménages, des entreprises et du gouvernement. Citons par exemple l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques (IPSC) de l'Université Western, ainsi que le Centre Intact d'adaptation aux changements climatiques (CIAC) et Partners for Action, basés à l'Université de Waterloo. L'industrie travaille également de concert avec les gouvernements et les entreprises pour mettre en commun des renseignements sur les risques, fait la promotion de l'adaptation auprès des entreprises, des propriétaires fonciers et des gouvernements en mettant un prix sur le risque de dommages physiques, et fournit des incitatifs financiers pour les investissements dans la résilience. Par exemple, en partenariat avec le gouvernement du Canada et les gouvernements provinciaux, par l'intermédiaire du Groupe de travail national sur le risque financier d'inondation, l'industrie partage les cartes des risques d'inondation, fournit des lignes directrices pour réduire les risques d'inondation, élabore des solutions pour gérer le risque financier d'inondation et met en place une couverture des inondations résidentielles dans certaines régions comprenant des mesures incitatives lorsque les résidents investissent dans la modernisation de leurs installations (Bureau d'assurance du Canada [BAC], 2019b). Il y a cependant des limites à la capacité de l'industrie de l'assurance à répondre aux risques climatiques. Si les changements climatiques ne sont pas atténués, les risques physiques liés aux changements climatiques pourraient devenir non assurables (Buberl, 2017).

En plus des risques physiques, les entreprises rencontrent également des risques et des occasions liées à la transition au fur et à mesure que de nouvelles technologies sont développées, et que les marchés et l'environnement politique réagissent aux changements climatiques et à la transition vers un avenir à faibles

émissions de carbone. Les entreprises pourraient devoir effectuer des investissements importants pour mener à bien la transition. Il peut s'agir de sources d'énergie renouvelable, de transports à faibles émissions de carbone, de bâtiments écoénergétiques, de nouvelles constructions résilientes et d'améliorations écoénergétiques. À mesure que de nouveaux marchés s'ouvrent, les anciens modèles de gestion peuvent devenir moins viables. Ces nouveaux marchés sont des éléments clés que les entreprises doivent prendre en compte pour déterminer leur stratégie et évaluer la viabilité de leur modèle de gestion. Les entreprises doivent examiner si leurs modèles de gestion sont résilients alors que le monde est en transition vers une économie à faible intensité de carbone. De nombreux investisseurs plaident déjà pour que les entreprises modifient leurs modèles de gestion et adoptent des stratégies de résilience climatique. Climate Action 100+, qui comprend des gestionnaires d'actifs canadiens, est une organisation qui collabore actuellement avec plus de 160 entreprises dans le monde à cette fin (Climate Action 100+, 2019).

8.3 La divulgation relative aux changements climatiques stimule la lutte contre les changements climatiques

Une plus grande divulgation financière des risques et occasions liés aux changements climatiques permettra de guider et d'améliorer les mesures visant à réduire les impacts des changements climatiques. Les orientations relatives à la divulgation de renseignements sur le climat évoluent et sont de plus en plus adoptées.

La divulgation relative aux changements climatiques permet aux investisseurs de prendre des décisions éclairées en matière d'investissement dans une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone. Grâce à la divulgation relative aux changements climatiques, les entreprises et les entités du secteur public comme les villes, les municipalités et les sociétés d'État sont encouragées à analyser et à adopter des stratégies d'adaptation aux risques climatiques, ainsi qu'à mieux les comprendre. Bien que les lois canadiennes sur les valeurs mobilières obligent les sociétés cotées en bourse à divulguer les risques climatiques importants, les investisseurs et autres intervenants exigent fréquemment des renseignements supplémentaires relatifs aux changements climatiques. Pour répondre à cette demande, de nombreuses entreprises canadiennes prennent l'initiative de publier des renseignements sur le climat dans des rapports publics sur le développement durable ou le climat. Historiquement, de nombreuses divulgations relatives aux changements climatiques ne répondaient pas aux besoins des investisseurs, car elles ne signalaient pas les répercussions financières et n'étaient souvent pas comparables d'une entreprise à l'autre. Des cadres de travail visant à améliorer la divulgation relative aux changements climatiques par les sociétés cotées en bourse et les entités du secteur public existent désormais et continuent d'être améliorés. Comme les attentes des investisseurs et des autres intervenants continuent d'évoluer, ces sociétés et entités pourraient avoir besoin d'améliorer leurs divulgations relatives aux changements climatiques pour répondre à ces attentes.

8.3.1 Importance de la divulgation relative aux changements climatiques

La divulgation est le processus utilisé par les organisations pour fournir des renseignements qui permettent aux intervenants d'évaluer une organisation et de prendre des décisions éclairées. Ces décisions peuvent porter sur le fait d'investir dans une organisation, d'y travailler, de lui acheter des services ou de lui en fournir. Dans le cas des électeurs, elles peuvent également porter sur le choix des dirigeants politiques à soutenir. La divulgation est un facteur clé de la prise de décision et du comportement des intervenants.

Comme les changements climatiques sont devenus un enjeu de plus en plus important pour de nombreux intervenants, les entreprises doivent divulguer des renseignements quant à la manière dont ils les affectent. Les investisseurs, actionnaires, prêteurs, assureurs, régulateurs, employés, consommateurs et électeurs veulent de plus en plus savoir comment ces entités gèrent les risques et les occasions liés aux changements climatiques. Les gouvernements ont également besoin de ces renseignements pour faciliter l'élaboration de politiques publiques cohérentes et crédibles.

La divulgation relative aux changements climatiques peut améliorer la gestion des risques et des occasions liées aux changements climatiques et encourager les investisseurs, les entreprises et les gouvernements à investir de façon éclairée dans l'adaptation et la réduction des émissions de GES. Pour soutenir la gestion des risques liés aux changements climatiques et les décisions d'investissement, il est nécessaire de faire preuve de transparence et de fournir en temps opportun des renseignements au moyen de la divulgation.

Dans le cadre d'un rapport de recherche, Comptables professionnels agréés (CPA) Canada a demandé à dix investisseurs institutionnels, détenant environ 1 900 milliards de dollars d'actifs sous gestion, de préciser les renseignements liés aux changements climatiques qu'ils utilisent dans le cadre de leur prise de décision, la manière dont ils les utilisent et l'impact qu'ils ont sur les décisions (CPA Canada, 2019a). Les investisseurs ont indiqué quelles étaient les divulgations particulières des entreprises qu'ils considéraient comme importantes pour leur prise de décision, notamment :

- l'exposition des sites et des infrastructures propres à l'organisation, dont les chaînes d'approvisionnement, aux phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. inondations, incendies, tempêtes de verglas, sécheresses, dégel précoce), leurs impacts potentiels et la manière dont l'organisation gère son exposition;
- les renseignements sur l'eau, lorsqu'il existe des dépendances critiques, notamment les impacts potentiels des déficits hydriques et les processus et plans de gestion des risques connexes de l'entreprise;
- les tendances et les mesures visant à réduire les émissions de GES, y compris les objectifs absolus et ceux basés sur l'intensité (CPA Canada, 2019a).

Les investisseurs recherchent également des renseignements sur les risques et les occasions liés à la transition vers une économie à faibles émissions de carbone, ainsi que des analyses des risques et des occasions liées aux changements climatiques pour les stratégies à moyen et à long terme d'une entreprise. Les divulgations relatives aux changements climatiques sont également importantes pour les prêteurs et les assureurs. Par ailleurs, les divulgations permettent aux institutions financières d'évaluer la résilience des

modèles de gestion des entreprises qu'elles servent ainsi que celle de leurs propres modèles de gestion afin de mieux gérer leur exposition aux risques climatiques.

Finalement, la divulgation relative aux changements climatiques permet aux marchés de mieux évaluer quelles entités peuvent gérer les risques climatiques et saisir les occasions connexes dans une économie à faibles émissions de carbone, et de déterminer quelles entités ont mis des stratégies en place pour être résilientes aux risques climatiques, tant physiques que liés à la transition. Ceci peut en retour encourager l'investissement durable (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019).

8.3.2 Divulgation obligatoire au Canada

Une société cotée en bourse est tenue, en vertu des lois provinciales sur les valeurs mobilières, de divulguer des renseignements concernant tous les risques importants auxquels elle est confrontée. Elle doit divulguer les engagements, les événements, les risques ou les incertitudes pour lesquels elle a des raisons de croire qu'ils affecteront sensiblement son rendement futur, ainsi que les politiques et les procédures de l'entreprise en matière de gestion et de surveillance des risques. Au Canada, il n'y a pas d'exigences normatives en matière d'établissement de rapports concernant les questions relatives aux changements climatiques. L'obligation de divulgation est dictée par l'importance relative (c.-à-d. la mesure dans laquelle le risque est considéré comme important au moment où la divulgation est faite). L'importance relative (voir l'encadré 8.1) est évaluée par référence au critère de l'« investisseur raisonnable ». Les renseignements sont susceptibles d'être importants si la décision d'un investisseur raisonnable d'acheter, de vendre ou de détenir les titres de la société est susceptible d'être influencée ou modifiée en cas d'omission ou d'inexactitude des renseignements (Autorités canadiennes des valeurs mobilières, 2019; 2010).

Encadré 8.1 : Importance relative

Voici quelques exemples de risques liés aux changements climatiques qui peuvent être importants pour une entreprise :

- les phénomènes météorologiques violents ou qui se manifestent progressivement et qui peuvent entraîner des dommages aux biens, des blessures corporelles, la perturbation d'activités, des problèmes relatifs aux employés ou la perturbation de la chaîne d'approvisionnement ou de la distribution aux clients;
- les règlements liés aux changements climatiques;
- les enjeux liés à la réputation (y compris l'attitude des employés et des investisseurs);
- les changements de modèle de gestion ou de stratégie liés, par exemple, à l'évolution de la demande de produits ou de services, à la disponibilité d'énergies renouvelables ou au développement de produits à haut rendement énergétique.

Ces risques liés aux changements climatiques peuvent avoir des répercussions financières, notamment la radiation d'actifs, des dépenses en capital, une augmentation des coûts et une réduction des revenus (Autorités canadiennes en valeurs mobilières [ACVM], 2019).

Pour les sociétés cotées en bourse, les Autorités canadiennes en valeurs mobilières (ACVM, 2019) ont publié plusieurs documents d'orientation, dont le plus complet est l'Avis 51-358 du personnel : « Information sur les risques liés aux changements climatiques ». Cet avis contient des principes pour les émetteurs qui cherchent à déterminer l'importance relative et invite les sociétés à opter pour la divulgation en cas de doute.

La *Loi canadienne sur les sociétés par actions* et les lois provinciales sur les sociétés par actions et les valeurs mobilières exigent généralement que les sociétés préparent leurs états financiers conformément aux principes comptables généralement reconnus (PCGR). Pour les entreprises ayant une obligation publique de rendre des comptes au Canada, les Normes internationales d'information financière (NIIF) sont les normes comptables utilisées qui représentent les PCGR. Selon un article d'un membre du Conseil des normes comptables internationales, les personnes qui font rapport en vertu des NIIF doivent prendre note que les risques liés aux changements climatiques sont couverts par les exigences existantes, même s'ils n'y sont pas explicitement mentionnés (Anderson, 2019). Comme les organismes de réglementation et les actionnaires se soucient de plus en plus de ce type de divulgation, les entités faisant rapport peuvent avoir à intégrer ces risques dans leurs états financiers.

La quantité et la qualité des divulgations relatives aux changements climatiques se sont améliorées au fil du temps. Une étude des sociétés canadiennes cotées en bourse fondée sur des données provenant de rapports annuels antérieurs à 2018 (avant la publication des recommandations du GTDFC) a révélé des variations significatives dans le fait que les sociétés fassent ou non des divulgations relatives aux changements climatiques, ainsi que dans la nature, la quantité et la qualité de ces divulgations (Autorités canadiennes des valeurs mobilières, 2018). Cette étude a conclu que les divulgations relatives aux changements climatiques étaient disparates et difficiles à comparer. En particulier, la majorité des divulgations relatives aux changements climatiques n'incluaient pas de mesures ou d'objectifs financiers. Les divulgations n'étaient donc pas comparables entre les secteurs ou au sein d'un même secteur, et une terminologie non uniforme contribuait au manque de comparabilité. Une étude plus récente de CPA Canada basée sur les données de 2018 a montré que les divulgations liées au GTDFC ont augmenté et que la quantité et la qualité des divulgations s'améliorent, bien que la qualité varie encore (CPA Canada, 2020).

8.3.3 Divulgation volontaire

Les entreprises canadiennes divulguent de plus en plus souvent de façon volontaire des renseignements sur les changements climatiques qu'elles ne considèrent pas comme importants au regard de la législation sur les valeurs mobilières. Certaines villes et administrations municipales canadiennes produisent également des rapports volontaires relatifs aux changements climatiques. La pratique de la divulgation dans les rapports volontaires profite à de nombreux intervenants, notamment les investisseurs, les employés, les clients, les

fournisseurs, les prêteurs, les assureurs, les gouvernements et les services de notation.

Le cadre proposé dans les recommandations du GTDFC (voir l'encadré 8.2) a sans doute été le cadre de déclaration volontaire le plus utilisé au Canada en 2020. Il a été approuvé par le gouvernement du Canada pour les sociétés d'État et constitue une condition pour les entreprises recevant un soutien financier en lien avec la COVID-19 (Corporation de financement d'urgence d'entreprises du Canada, 2020). Le Groupe d'experts sur la finance durable a recommandé que toutes les entreprises canadiennes adoptent ce cadre d'établissement de rapports.

Encadré 8.2 : Recommandations du Groupe de travail sur les divulgations financières liées aux changements climatiques (GTDFC)

Le GTDFC a recommandé des divulgations qui sont destinées à être utilisées volontairement par des organisations de tous types dans leurs principaux documents financiers (c.-à-d. ceux déposés auprès des organismes de réglementation des valeurs mobilières ou de l'industrie) (voir la figure 8.2).

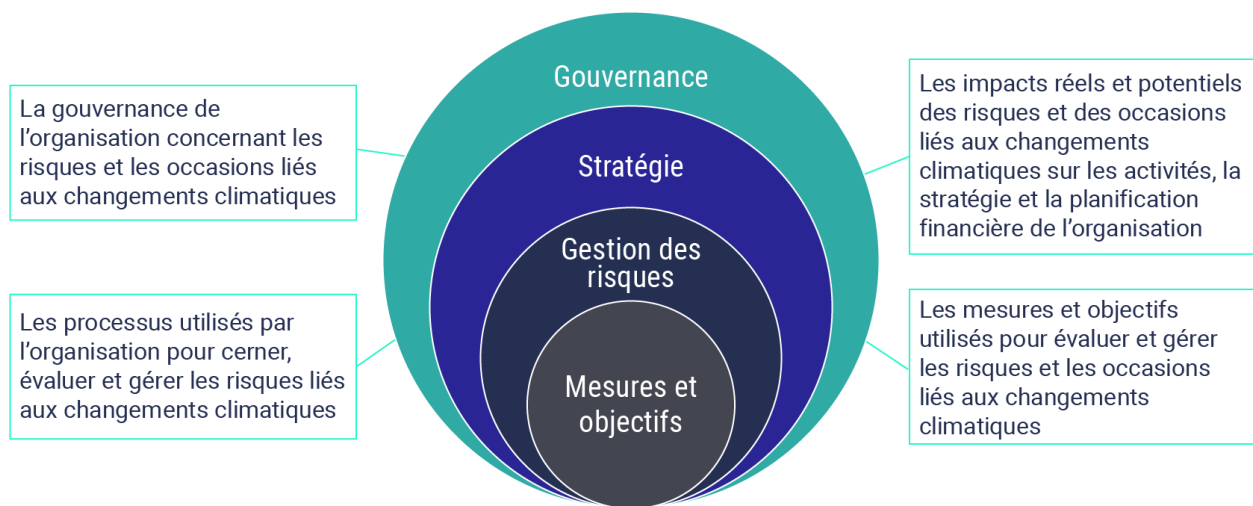


Figure 8.2 : Principaux éléments des recommandations en matière de divulgations relatives aux changements climatiques. Source : Adapté du Groupe de travail sur les divulgations financières liées aux changements climatiques, 2017.

Le GTDFC recommande que toutes les organisations divulguent les éléments de gouvernance et de gestion des risques, peu importe leur importance relative. De plus, les propriétaires et les gestionnaires d'actifs

devraient divulguer des renseignements sur l’empreinte carbone dans les rapports destinés aux clients et aux bénéficiaires, sans égard à l’évaluation de leur importance relative. Si ces renseignements sont jugés importants selon les mêmes critères que ceux utilisés dans leurs dossiers réglementaires, les organisations devraient également divulguer les éléments suivants : leur stratégie, mesures et objectifs. Les émissions de GES de portée 1, 2 et 3 et l’analyse des scénarios (c.-à-d. la résilience de la stratégie de l’organisation dans le cadre de différents scénarios de changements climatiques) sont comprises dans les mesures et les objectifs. Les organisations qui omettent une divulgation recommandée devraient en indiquer les raisons. Le GTDFC fournit des orientations supplémentaires en matière de divulgation pour les banques, les compagnies d’assurance, les propriétaires et les gestionnaires d’actifs.

En date du 30 septembre 2020, le cadre du GTDFC était utilisé par toutes les grandes banques et compagnies d’assurance canadiennes cotées en bourse, ainsi que par certaines autres grandes sociétés canadiennes cotées en bourse. Beaucoup de ces entreprises ont fait des divulgations dans toutes les catégories, y compris l’analyse de scénarios émergents (CPA Canada, 2020). Le cadre du GTDFC a été approuvé par les principaux cabinets d’experts-comptables, CPA Canada et par les régimes de retraite et les gestionnaires d’actifs canadiens.

Dans son rapport sur la situation mondiale publié au milieu de l’année 2019, le GTDFC (2019) mentionne que, selon lui, bien que des progrès importants aient été réalisés en matière de divulgation relative aux changements climatiques à l’échelle mondiale, il est nécessaire de clarifier davantage les répercussions financières potentielles des enjeux liés aux changements climatiques. Le rapport constate également que la divulgation est faible en ce qui concerne la résilience stratégique, ce qui présente un grand intérêt pour la plupart des fournisseurs de capitaux. Il conclut que l’adoption du cadre du GTDFC devrait s’élargir et s’améliorer à mesure que le secteur privé peaufine les pratiques exemplaires émergentes en matière de divulgation relative aux changements climatiques qui soit efficace et utile à la prise de décision.

Un autre véhicule utilisé pour la divulgation volontaire par les entreprises, les villes et les régions, au Canada comme ailleurs, est le CDP (anciennement le Carbon Disclosure Project), qui fait circuler et rassemble des sondages annuels sur les changements climatiques et d’autres enjeux (CDP, 2020). Ces sondages intègrent les éléments de divulgation du GTDFC et constituent une source importante de renseignements pour les investisseurs, les clients, les fournisseurs et les gouvernements. Plus de 250 entreprises canadiennes ont participé à ces sondages en 2019.

Certaines entreprises canadiennes ont également publié des rapports fondés sur le cadre du Sustainability Accounting Standards Board (SASB), lequel intègre les changements climatiques dans une variété d’autres risques environnementaux, sociaux et de gouvernance (Sustainability Accounting Standards Board, 2018). Le SASB crée des normes comptables de durabilité propres aux industries qui aident les entreprises à repérer et à communiquer aux investisseurs des renseignements importants sur les risques climatiques dans leurs principaux documents financiers. Les ACVM (2019) ont suggéré que les émetteurs canadiens pourraient souhaiter tenir compte des mesures de la SASB lorsqu’ils prennent des décisions en matière de divulgation relative aux changements climatiques.

8.3.4 Pratiques émergentes

Pour les gouvernements fédéral, provinciaux et municipaux, la divulgation des enjeux relatives aux changements climatiques dépend en grande partie des normes comptables du secteur public qui ne traitent pas spécifiquement des questions liées aux changements climatiques. Les divulgations supplémentaires sont rares et ont été en grande partie motivées par des chefs de gouvernement qui ont volontairement décidé de fournir ces renseignements. Heureusement, un certain nombre de grandes municipalités canadiennes font preuve de leadership en matière de divulgation relative aux changements climatiques. Les villes de Vancouver, Montréal et Toronto améliorent chacune leur divulgation relative aux changements climatiques et ont collaboré avec CPA Canada pour élaborer des orientations qui peuvent être utilisées par les municipalités de tout le pays (CPA Canada, 2019d).

Dans son rapport définitif, le groupe d'experts a approuvé le cadre du GTDFC en ce qui concerne les sociétés d'État fédérales et provinciales, ainsi que les émetteurs du secteur privé de toutes tailles. Le comité a recommandé une approche en deux phases pour la mise en œuvre sur une période de cinq à sept ans, en fonction de la taille de l'émetteur. Il a également recommandé la mise en œuvre du GTDFC, en étroite collaboration avec les provinces, sous un régime obligatoire de « se conformer ou s'expliquer », qui était l'une des options envisagées mais non adoptées par les ACVM dans son rapport de 2018 (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019).

8.3.5 Occasions d'amélioration : lacunes en matière de données et de méthodologie

Des études sur les rapports financiers liés aux changements climatiques ont appelé les entreprises, les institutions financières et les gestionnaires d'actifs, ainsi que leur conseil d'administration, leur direction et leurs conseillers professionnels, à mieux se renseigner sur les risques et les occasions d'affaires, ainsi que sur les répercussions financières potentielles des changements climatiques (ACVM, 2018). De nombreuses initiatives sont en cours à cet égard, notamment des programmes de formation. Afin que les organisations puissent évaluer, gérer et divulguer rigoureusement leurs risques, il est nécessaire d'élaborer de nouveaux outils, modèles, méthodologies et normes pour l'analyse des risques physiques climatiques et de transition dans le cadre de différents scénarios d'émissions, ainsi que de développer l'expertise nécessaire pour les utiliser et les interpréter. Pour les décideurs politiques, l'analyse des scénarios et les simulations de crise seront importantes pour évaluer si les flux de financement sont compatibles avec une transition ordonnée vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone, et pour déterminer si le système financier sera résilient aux chocs liés aux changements climatiques.

Pour les organisations qui effectuent des analyses de risques physiques, il y a souvent des limites à la disponibilité de données historiques et de données de projection climatique pertinentes et non exclusives, pour tous les emplacements des actifs, de la production, de la distribution et de la chaîne d'approvisionnement d'une organisation. De plus, le coût de l'utilisation de l'expertise pour interpréter ou utiliser ces données aux fins du GTDFC peut être prohibitif pour de nombreuses entreprises. Diverses initiatives aux niveaux fédéral, provincial et local sont en cours pour offrir un large accès à des

renseignements et des conseils complets, faisant autorité et utiles à la prise de décision concernant les changements climatiques (Gouvernement du Canada, 2020; LAMPS, 2020; Pacific Climate Impacts Consortium, 2020).

Le cadre du GTDFC recommande aux entreprises d'élaborer et de divulguer des mesures et des objectifs pour évaluer les risques et les occasions, mais il ne donne pas d'indications précises dans ce domaine. Les entreprises et leurs conseils d'administration avaient du mal à obtenir et à analyser les renseignements nécessaires pour élaborer ces mesures et objectifs (CPA Canada, 2019b, c). Les entreprises au sein d'une même industrie manquaient souvent de renseignements sur ce que les membres de leur groupe de pairs faisaient à cet égard. Pour aider à remédier à cette situation, le GTDFC s'est engagé à continuer de travailler avec les acteurs du marché pour peaufiner les mesures afin qu'elles soient cohérentes, comparables et utiles à la prise de décision (Carney, 2019). De plus, des études ont été publiées au Canada afin de fournir aux entreprises et aux gestionnaires d'actifs des mesures propres à l'industrie et au secteur pour évaluer et quantifier divers risques (Feltmate et coll., 2020).

Il existe d'importantes lacunes méthodologiques associées à l'analyse des scénarios et des simulations de crise. Le GTDFC recommande d'utiliser des analyses de scénarios et de simulations de crise pour, par exemple, créer des situations hypothétiques qui donnent une série de résultats potentiels basés sur des hypothèses, des facteurs et des méthodologies particuliers, tels que l'augmentation présumée de la température mondiale, le bouquet énergétique, ou le fait que la transition vers une économie à faibles émissions de carbone se fasse en douceur ou brusquement. Bien qu'il existe quelques modèles de scénarios accessibles au public, il existe de nombreux modèles privés sur mesure. En date du 30 septembre 2020, il y avait un manque de lignes directrices, de normes, de protocoles et de pratiques cohérentes dans ce domaine (CPA Canada, 2019b, c). Dans la plupart des cas, les organisations ont dû recourir à l'aide d'experts externes en la matière. En 2019, le GTDFC a indiqué qu'il continuait à travailler avec les acteurs du marché pour créer des exemples de « pratiques exemplaires » en matière d'analyse de scénarios et de simulations de crise. De plus, l'Initiative financière du Programme des Nations Unies pour l'environnement, le Réseau pour l'écologisation du système financier et diverses organisations pour les fonds de pension, les compagnies d'assurance, les gestionnaires d'actifs et les institutions financières du Canada (qui ont tous des participants canadiens) ont continué à travailler à l'élaboration de méthodologies, d'outils et des pratiques normalisés à cet égard (Réseau pour l'écologisation du système financier, 2020; Initiative financière du PNUE, 2019). Le rapport final du groupe d'experts recommandait que le gouvernement fédéral parraine un effort de recherche visant à élaborer deux ou trois scénarios de base pour la divulgation relative aux changements climatiques pour les émetteurs et les groupes de l'industrie (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019). Dans l'ensemble, il faudra du temps pour que des pratiques cohérentes émergent et soient adoptées dans tous les secteurs de l'économie canadienne.

8.4 La transition vers une économie à faibles émissions de carbone et résiliente aux changements climatiques nécessite des investissements importants

Il existe une importante lacune en matière de financement pour la transition vers une économie à faibles émissions de carbone et résiliente aux changements climatiques au Canada. D'importants capitaux publics et privés sont nécessaires pour combler cette lacune, mais des obstacles limitent les possibilités d'attirer la quantité de capitaux adéquate.

Au Canada, on observe une importante lacune en matière de financement pour la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone dans tous les secteurs économiques et en ce qui concerne les biens appartenant au gouvernement, aux entreprises, aux collectivités et aux personnes. L'ampleur de cette lacune dépasse la capacité du seul secteur public et nécessitera la mobilisation de capitaux privés. Il est essentiel de financer à la fois la réduction des émissions de GES et l'adaptation aux changements climatiques dans le cadre d'une approche plus intégrée pour assurer la transition vers une économie résiliente, à faibles émissions de carbone. La réduction des émissions est nécessaire pour limiter le coût de l'adaptation aux changements climatiques. Les risques (physiques et de transition) et les occasions liés aux changements climatiques sont de plus en plus pris en compte par les investisseurs dans leurs stratégies d'investissement, la planification de leur portefeuille et leurs décisions d'investissement. Des mécanismes de financement sont en cours d'élaboration pour combler cette lacune, mais leur ampleur est actuellement limitée en raison d'un certain nombre d'obstacles.

8.4.1 Avantages connexes du financement de l'adaptation et de la réduction des émissions de GES

Un cadre de politique, de planification et de mise en œuvre résilient aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone peut améliorer le rapport coût-efficacité des mesures de lutte contre les changements climatiques (Laukkonen et coll., 2009; Yohe et Strzepek, 2007). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) affirme avec une grande confiance qu'« un ensemble d'options d'adaptation et d'atténuation visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C, mises en œuvre de manière participative et intégrée, peut permettre des transitions rapides et systémiques » (GIEC, 2019). Le fait de ne pas prendre en compte à la fois l'adaptation et la réduction des émissions de GES pourrait être problématique pour plusieurs raisons (Harford et Raftis, 2019). Tout d'abord, si ces deux aspects sont traités séparément, chacun d'entre eux peut avoir un effet négatif sur l'objectif de l'autre. Par exemple, le développement d'un environnement urbain dense peut réduire les émissions en diminuant les besoins en transports quotidiens, mais il peut aussi augmenter le risque d'inondations urbaines (Laukkonen et coll., 2009). Deuxièmement, il existe de nombreux projets potentiels qui peuvent permettre à la fois l'adaptation et l'atténuation et qui pourraient passer

inaperçus si les objectifs ne sont pas pris en compte simultanément. Par exemple, les infrastructures et les bâtiments peuvent être conçus pour avoir des besoins énergétiques réduits tout en étant plus résilients aux conditions météorologiques extrêmes (Harford et Raftis, 2019).

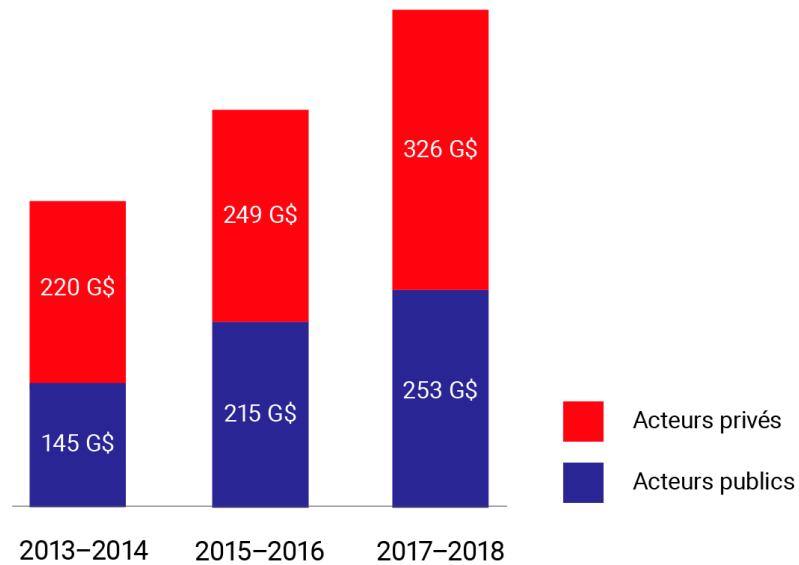
Au Canada, l'adaptation et la réduction des émissions de GES ont longtemps été considérées en silos isolés. Le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques fournit un cadre national pour la transition vers une économie résiliente et à faibles émissions de carbone (Gouvernement du Canada, 2016), mais il n'énonce pas explicitement la nécessité d'envisager conjointement l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des émissions de GES. Des efforts sont en cours au Canada pour se défaire de l'approche en silos (Institut canadien pour des choix climatiques, 2020).

8.4.2 Portée de la transition

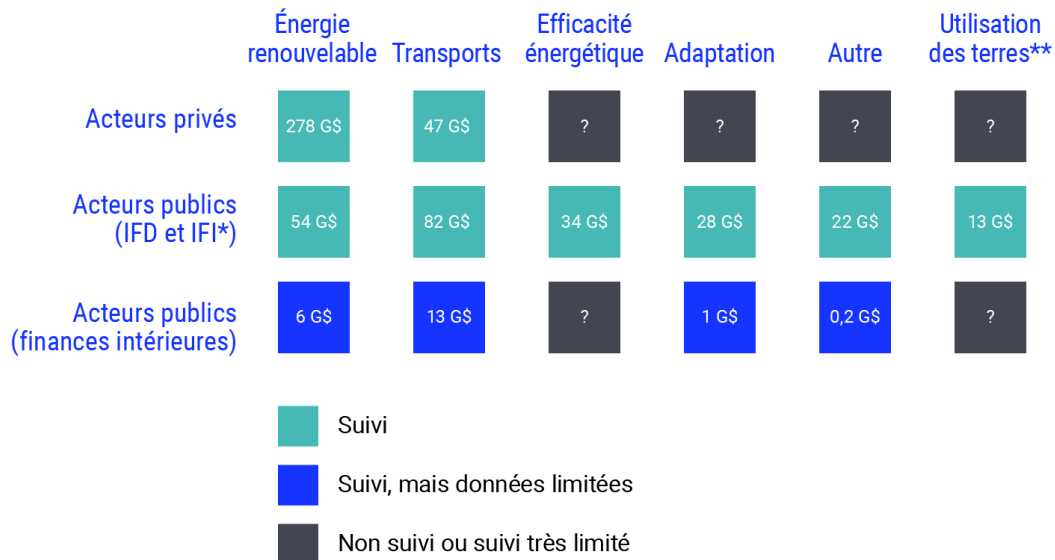
Des investissements importants sont nécessaires pour permettre au Canada d'effectuer son virage vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone. Un plan d'investissement pour la mise en œuvre du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, comprenant une analyse explicite des investissements nécessaires dans les principaux secteurs de l'économie, aiderait à déterminer la taille et la portée des débouchés pour le financement de la transition (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019). Le Bureau d'assurance du Canada (BAC) a également recommandé des investissements annuels de 5,3 milliards de dollars dans des mesures d'adaptation visant à réduire l'exposition aux risques physiques liés aux changements climatiques (BAC, 2019a).

Les secteurs public et privé ont investi dans ces mesures à l'échelle mondiale (voir la figure 8.3). En moyenne, le total des investissements climatiques publics et privés suivis est passé de 365 milliards de dollars par an en 2013–2014 à 579 milliards de dollars par an en 2017–2018 (Buchner et coll., 2019). Ces investissements comprenaient le financement des énergies renouvelables et des transports, le financement public pour l'adaptation, le financement public à travers les institutions financières de développement et les flux financiers internationaux pour l'efficacité énergétique, l'utilisation des terres et d'autres projets liés aux changements climatiques.

a)



b)



* IFD = Institutions financières de développement, IFI = Institutions financières internationales
 **Exclut les fonds alloués aux projets d'adaptation

Figure 8.3 : Suivi mondial des flux de financement liés aux changements climatiques par les acteurs privés et publics en milliards de dollars (USD). a) Moyennes sur deux ans des contributions des acteurs privés au financement lié aux changements climatiques par rapport aux acteurs publics au cours de la période 2013–2018. b) Répartition du financement moyen lié aux changements climatiques sur deux ans (2017–2018) entre les acteurs privés et les acteurs publics, et par secteur. Source : Adapté de Buchner et coll., 2019.

8.4.3 Mécanismes de financement pour l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des émissions de GES

Au-delà des instruments généraux de dette et de capitaux propres, d'autres instruments de financement sont en cours d'élaboration afin de mobiliser des fonds pour des projets relatifs à la résilience climatique et aux faibles émissions de carbone. Voici quelques exemples :

Obligations vertes : Le produit des obligations vertes doit être utilisé pour des projets liés aux changements climatiques qui réduisent les émissions de GES ou améliorent la résilience aux changements climatiques (Climate Bonds Initiative, 2020). Les obligations vertes sont de plus en plus utilisées pour des projets intégrant de faibles émissions de carbone et la résilience aux changements climatiques. Cependant, moins de 5 % des fonds des obligations vertes mondiales d'avant 2019 ont servi à financer des projets d'adaptation aux changements climatiques (Climate Bond Initiative, 2019). Depuis septembre 2020, des critères techniques pour les projets liés à l'adaptation, tels que les infrastructures d'eau et d'égout et les infrastructures résilientes aux changements climatiques, sont en cours d'élaboration pour les obligations vertes (Climate Bonds Initiative, 2019).

Plusieurs émetteurs provinciaux et municipaux d'obligations vertes inscrivent l'adaptation et la résilience aux changements climatiques comme une catégorie de projet admissible dans leurs cadres respectifs d'obligations vertes. Citons par exemple la province de l'Ontario (s.d.), la province de Québec (Ministère des Finances du Québec, s.d.), la ville de Vancouver (voir l'encadré 8.3; 2018) et la ville d'Ottawa (2020).

Encadré 8.3 : Utilisation d'une obligation verte par la Ville de Vancouver pour financer des mesures d'adaptation

La Ville de Vancouver a émis sa première obligation verte en septembre 2018, pour un montant en capital de 85 millions de dollars. Les fonds provenant de l'obligation sont utilisés pour financer jusqu'à sept types de projets : énergie renouvelable, efficacité énergétique, bâtiments écologiques, transports propres, prévention de la pollution, réseaux d'alimentation en eau et d'assainissement durables, et restauration, préservation et promotion des infrastructures et des biens naturels. Les projets approuvés comprennent la modernisation des systèmes d'égouts afin de prévenir les débordements, le développement du service énergétique du quartier de False Creek, la construction de plus de 200 logements abordables et la conversion de bâtiments communautaires en bâtiments carboneutres (Ville de Vancouver, 2018).

Obligations de durabilité : Le produit des obligations de durabilité est exclusivement utilisé pour financer ou refinancer une combinaison de projets écologiques et sociaux. En 2019, un certain nombre d'institutions financières canadiennes, dont la Financière Sun Life, la Banque Nationale du Canada et le Groupe financier

BMO, ont adopté des cadres d'obligations durables (Sun Life, 2019a; Banque Nationale du Canada, 2018; Banque de Montréal, 2019a, respectivement) et émis des obligations (Sun Life, 2019b; Banque Nationale du Canada, 2019; Banque de Montréal, 2019b, respectivement).

Obligations catastrophes : Face aux impacts croissants des phénomènes météorologiques extrêmes, les gouvernements locaux, provinciaux et nationaux doivent gérer leurs budgets de manière à accélérer la reprise après les catastrophes en couvrant les dommages et en payant le coût de la reconstruction des biens et des infrastructures publics. Les obligations catastrophes sont conçues pour transférer ces risques aux marchés des capitaux. Les obligations catastrophes servent de police d'assurance pour l'émetteur de l'obligation, où le principal de l'obligation est annulé lorsqu'une catastrophe atteint un seuil prédéterminé. En septembre 2018, le marché mondial des obligations catastrophes s'élevait à 30 milliards de dollars après une forte augmentation des émissions en 2017 et 2018 (Ralph, 2018). Au Canada, les lignes directrices sur la réglementation des assurances publiées en 2013 permettent aux assureurs de couvrir les risques en utilisant des instruments financiers novateurs, mais exigent une approbation préalable pour que ces instruments contribuent aux exigences en matière de capital (Bureau du surintendant des institutions financières, 2013).

Crédits compensatoires pour le carbone dans le secteur forestier : Plusieurs régimes provinciaux de tarification du carbone au Canada et des organismes de normalisation sur les marchés volontaires du carbone ont élaboré des protocoles de compensation du carbone pour les projets forestiers canadiens, dont un certain nombre en Colombie-Britannique. Bien que leur objectif premier soit de réduire les émissions de carbone, ces projets présentent des avantages connexes pour la résilience aux changements climatiques et la réduction des risques climatiques physiques.

Obligations de transition : Les obligations de transition sont conçues pour les secteurs à forte intensité de carbone et leurs produits sont utilisés pour financer des projets nouveaux ou existants pour une transition vers un impact environnemental réduit, comme la réduction des émissions de carbone (Takatsuki et Foll, 2019). Ces obligations sont destinées aux entreprises et aux projets qui ne seraient pas qualifiés d'« écologiques ». Ils peuvent être particulièrement utiles aux entreprises canadiennes de l'industrie minière, de l'industrie des matériaux et de l'industrie pétrolière et gazière (Riordan, 2020). On craint que les entreprises n'utilisent ces obligations pour paraître plus respectueuses de l'environnement qu'elles ne le sont en réalité (c.-à-d. pour faire de l'écoblanchiment). Au Canada, Corporate Knights et le Council for Clean Capitalism ont publié leurs lignes directrices sur les obligations de transition propre, notamment une taxonomie du financement propre pour l'industrie lourde (Corporate Knights et le Council for Clean Capitalism, 2018).

Mécanismes de financement des actifs publics et des projets d'infrastructure : Le Groupe d'experts sur la finance durable (2019) a souligné la nécessité d'élaborer un plan national d'infrastructures durables, comprenant des projets et des plans d'investissement dans le cadre de partenariats public-privé. Le Groupe a souligné la nécessité de définir des critères de durabilité basés sur le risque pour guider la planification, la sélection et le financement de toute nouvelle infrastructure fédérale. Il a fait valoir que ces critères devraient comprendre des protocoles pour évaluer l'assurabilité plus tôt dans le processus de développement afin de veiller à ce que les infrastructures soient conçues et construites de manière durable, et que le risque puisse être transféré aux assureurs soit directement, soit par l'intermédiaire de groupes d'assureurs ou de structures paramétriques du marché des capitaux (p. ex. celles utilisées dans les obligations catastrophes) afin de favoriser la responsabilité du gouvernement en tant qu'assureur de dernier recours du Canada (The Geneva Association, 2019).

Les mécanismes de financement des infrastructures comprennent les suivants :

- **Recyclage des actifs** : Les actifs publics dont les flux de trésorerie sont avérés sont vendus à des investisseurs privés pour financer de nouveaux projets. Par exemple, le produit de la vente prévue du pipeline Trans-Mountain est engagé pour financer des projets d'énergie propre (Ministère des Finances du Canada, 2019).
- **Obligations de résilience** : Un type d'obligation catastrophe qui est conçu pour inciter les villes et autres instances à investir dans la résilience. Ces obligations comprennent un rabais de résilience qui convertit les pertes « mesurables » évitées d'un plan de réduction des risques en un flux de revenus (Vaijhalal et Rhodes, 2018). La Banque européenne pour la reconstruction et le développement a émis la première obligation dédiée à la résilience climatique au monde pour 700 millions USD (Bennett, 2019).
- **Partenariats public-privé** : Les partenariats public-privé (PPP) ont joué un rôle de premier plan dans le financement d'infrastructures, bien que leur efficacité et les coûts qui leur sont associés continuent de susciter la controverse (BAC, 2015; KPMG, 2015; Kunreuther, 2015). En février 2020, il y avait environ 286 projets actifs au Canada, pour une valeur marchande de 139 milliards de dollars (Conseil canadien pour les partenariats public-privé, 2020).
- **Banque de l'infrastructure du Canada** : Créée en 2017, la Banque de l'infrastructure du Canada a été chargée d'investir 35 milliards de dollars du gouvernement fédéral dans des projets d'infrastructure avec des partenaires provinciaux, territoriaux, municipaux et autochtones, et d'attirer des investisseurs institutionnels pour financer de nouveaux projets d'infrastructure générant des revenus et offrant des avantages publics (Banque de l'infrastructure du Canada, 2020). Le 1^{er} octobre 2020, le premier ministre Justin Trudeau et le ministre de l'Infrastructure et des Collectivités ont annoncé un plan de croissance de 10 milliards de dollars sur trois ans en partenariat avec la Banque de l'infrastructure du Canada, ciblant entre autres les projets d'énergie renouvelable, l'amélioration énergétique des bâtiments, la mise en place de transports scolaires sans émissions et les infrastructures de recharge (Banque de l'infrastructure du Canada, 2020).

8.4.4 Défis des investissements liés aux changements climatiques

Les banques, les investisseurs institutionnels, les assureurs et les fonds de pension sont des sources d'investissement essentielles dans les projets d'adaptation et de réduction des émissions de GES, tant au Canada qu'ailleurs dans le monde. Toutefois, ils doivent surmonter plusieurs obstacles pour investir au niveau nécessaire à la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone (EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance, 2018; The Geneva Association, 2018a). Voici certains de ces obstacles :

- les risques politiques et de politique publique liés à l'absence de stratégies nationales, de politiques claires en matière de changements climatiques, de processus réglementaires et législatifs et de subventions gouvernementales incompatibles;

- la nécessité de définir une taxonomie verte et d'établir que ce qui est « écologique » comme une classe d'actifs, afin de permettre le développement d'un marché solide et des occasions d'investissements écologiques de qualité;
- le besoin de données, d'outils, de méthodologies et d'expertise pour évaluer les risques et la qualité des investissements;
- les problèmes réglementaires liés à l'augmentation des charges en capital découlant des investissements à long terme et à plus haut risque.

Les gouvernements, les responsables des politiques et divers organismes de réglementation ou de normalisation jouent un rôle clé dans la lutte contre certains de ces obstacles (The Geneva Association, 2018a), et le Groupe d'experts sur la finance durable (2019) a abordé plusieurs de ces enjeux dans ses recommandations.

L'incertitude des politiques publiques et de la réglementation constitue un défi majeur. Les investissements dans l'adaptation et la réduction des émissions de GES ont un horizon à long terme de plusieurs années ou décennies et l'incertitude réglementaire augmente le risque de ces investissements (Groupe d'experts sur la finance durable, 2018). En septembre 2020, il subsistait une incertitude considérable à l'échelle mondiale concernant les efforts de réduction des émissions de GES, y compris les mécanismes du marché international pour l'échange des réductions d'émissions et la tarification du carbone. Au Canada, le plan fédéral de tarification du carbone et la législation connexe ont fait l'objet de contestations répétées de la part de nombreuses provinces avec trois cas de référence provinciaux constitutionnels qui ont donné lieu à des audiences de la Cour suprême du Canada (Rabson, 2020). La planification provinciale pour faire face aux changements climatiques et réduire les émissions de GES a considérablement changé avec les résultats des élections provinciales.

Une taxonomie « verte » fournirait des définitions communes pour les activités et les pratiques d'investissement écologiques, résilientes et durables. Elle pourrait permettre d'orienter les capitaux privés vers ces activités à long terme, tout en empêchant les fausses déclarations et l'écoblanchiment. Toutefois, l'adoption d'une taxonomie internationale, telle que la taxonomie de l'UE sur le financement vert (EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, 2020), comme cadre faisant autorité ne peut que partiellement lever ces obstacles, car les taxonomies internationales peuvent ne pas s'appliquer pleinement à l'économie canadienne (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019). En 2019, un groupe de travail avec l'Association canadienne de normalisation a été formé pour élaborer une taxonomie sur la « transition » pour les industries à forte intensité de ressources au Canada (Conseil canadien des normes, 2019). Ce projet s'appuie sur les cadres mondiaux existants et est mené en deux parties, la première portant sur le cadre de transition et les définitions, et la seconde sur une taxonomie de transition propre à sept secteurs prioritaires (Groupe CSA, 2020).

Sans données accessibles et pertinentes pour la prise de décision sur les risques et occasions liés aux changements climatiques, les investisseurs ne seront pas en mesure d'évaluer la viabilité de leurs investissements dans le cadre de l'adaptation et de la réduction des émissions de GES (Carney, 2019; Groupe d'experts sur la finance durable, 2018). Les efforts visant à définir les besoins en matière de données et à élaborer des méthodologies et des outils standard pour l'évaluation des risques liés aux changements climatiques n'en sont qu'à leurs débuts (Golnaraghi, 2019b). De plus, l'expertise interne pour la production,

l'interprétation et l'utilisation des renseignements sur les risques des changements climatiques est un défi pour les secteurs public et privé au Canada.

Une quantité importante de données relatives aux risques des changements climatiques est recueillie par divers organismes fédéraux, provinciaux et municipaux, les universités, les centres d'excellence, les organismes non gouvernementaux et le secteur privé. En septembre 2020, ces données ne sont ni compilées ni facilement disponibles. Les coûts liés à la collecte et à l'assurance qualité des données requises, pour la modélisation des risques, peuvent demeurer prohibitifs pour une entreprise individuelle. De plus, la traduction de ces données en informations sur les risques pertinentes pour les décisions de financement nécessite des renseignements spécifiques au secteur et une expertise pluridisciplinaire (Golnaraghi, 2019a).

Des initiatives ciblées recommandées par le groupe d'experts, telles que la création d'un centre canadien d'information et d'analyse climatiques (CCIAC), contribueraient à éclairer l'analyse des données et la prise de décisions dans ce domaine. Depuis les années 1990, à l'échelle mondiale, le secteur des assurances a considérablement investi dans des méthodes innovantes pour évaluer, tarifer et gérer les risques climatiques physiques. L'industrie utilise des modèles de catastrophe traditionnels et s'efforce de renforcer les capacités de modélisation des effets des changements climatiques avec une approche prospective (The Geneva Association, 2018b). Les modèles de catastrophe sont principalement disponibles auprès des entreprises de modélisation des risques commerciaux et des courtiers d'assurance/de réassurance, et certaines compagnies internationales de (ré)assurance ont également élaboré leurs propres modèles internes. Ces modèles pourraient également éclairer les décisions de prêt et d'investissement pour les portefeuilles de biens immobiliers et d'infrastructures (Cambridge Institute for Sustainability Leadership, 2019a, b).

Un paysage complexe de jeunes entreprises privées spécialisées dans les données sur les risques climatiques et d'entreprises de technologies financières environnementales (c.-à-d. des entreprises qui utilisent des technologies pour fournir des services financiers) est en train d'émerger aux États-Unis, en Europe et au Canada. Ces entreprises fournissent des données et des analyses aux sociétés financières et d'assurance (Golnaraghi, 2019b). En septembre 2020, les outils de modélisation des risques physiques et de transition liés aux changements climatiques fournis par ces fournisseurs de données commerciales restaient fragmentés en fonction du type de risque, du secteur et des applications décisionnelles. Les agences de notation internationales, telles que Moody's Financial Services et S&P Global Services, mettent en place des capacités internes de modélisation du risque climatique pour leurs notations de crédit des États, des municipalités et des entreprises (Flavelle, 2019).

8.5 Les investissements dans la réduction des risques climatiques renforcent la résilience

Les investissements dans la résilience aux catastrophes ont démontré leur efficacité pour réduire l'exposition aux risques climatiques physiques. Les gouvernements, les entreprises et les personnes ont la possibilité d'améliorer leur résilience aux risques climatiques physiques afin de rompre la tendance à l'augmentation des pertes et des dommages causés par les phénomènes climatiques.

Les impacts socio-économiques des phénomènes météorologiques extrêmes sont en augmentation au Canada en raison de la concentration croissante de personnes et de biens dans des endroits à haut risque, des approches actuelles en matière de planification du développement et de pratiques de construction ainsi que des changements climatiques. Les avantages significatifs des investissements dans la prévention des catastrophes et la réduction des risques sont de plus en plus reconnus. Toutefois, ces investissements en amont ne représentent qu'une petite fraction des coûts payés pour le rétablissement après une catastrophe.

8.5.1 Les investissements dans la résilience aux changements climatiques sont rentables

Le Canada a subi des pertes importantes en raison de catastrophes liées aux changements climatiques. L'Institut d'assurance du Canada constate que, depuis les années 1980, les indemnités versées par les assureurs canadiens pour les dommages liés aux changements climatiques ont été multipliées par 20 après ajustement pour l'inflation, doublant tous les cinq à dix ans (Institut d'assurance du Canada, 2020). Les pertes assurées pour les risques liés aux changements climatiques ont augmenté pour atteindre une moyenne de 1,9 milliard de dollars par an de 2010 à 2019 (voir la figure 8.4). Les plus grands sinistres assurés de l'histoire du Canada comprennent le feu de forêt de 2016 à Fort McMurray, l'inondation de 2013 à Calgary et la tempête de verglas de 1998 au Québec. L'augmentation des sinistres assurés est attribuée à l'augmentation de la quantité et de la valeur des biens exposés, de la fréquence et de l'intensité des menaces ainsi que des taux de couverture d'assurance¹.

Entre 1970 et 2014, plus de 76 % des dépenses des Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC) du Canada étaient liées à des inondations (Moudrak et Feltmate, 2017). Ces coûts sont passés d'environ 100 millions de dollars par an il y a deux décennies à 500 millions de dollars en 2009–2010, et ils ont atteint 2 milliards de dollars en 2013–2014.

¹ Les montants des sinistres assurés sont fournis malgré l'évolution des taux de couverture d'assurance dans le temps, car il n'existe pas de consensus sur la méthodologie d'estimation des pertes économiques directes liées aux catastrophes, ce qui rend ces estimations difficiles à comparer.

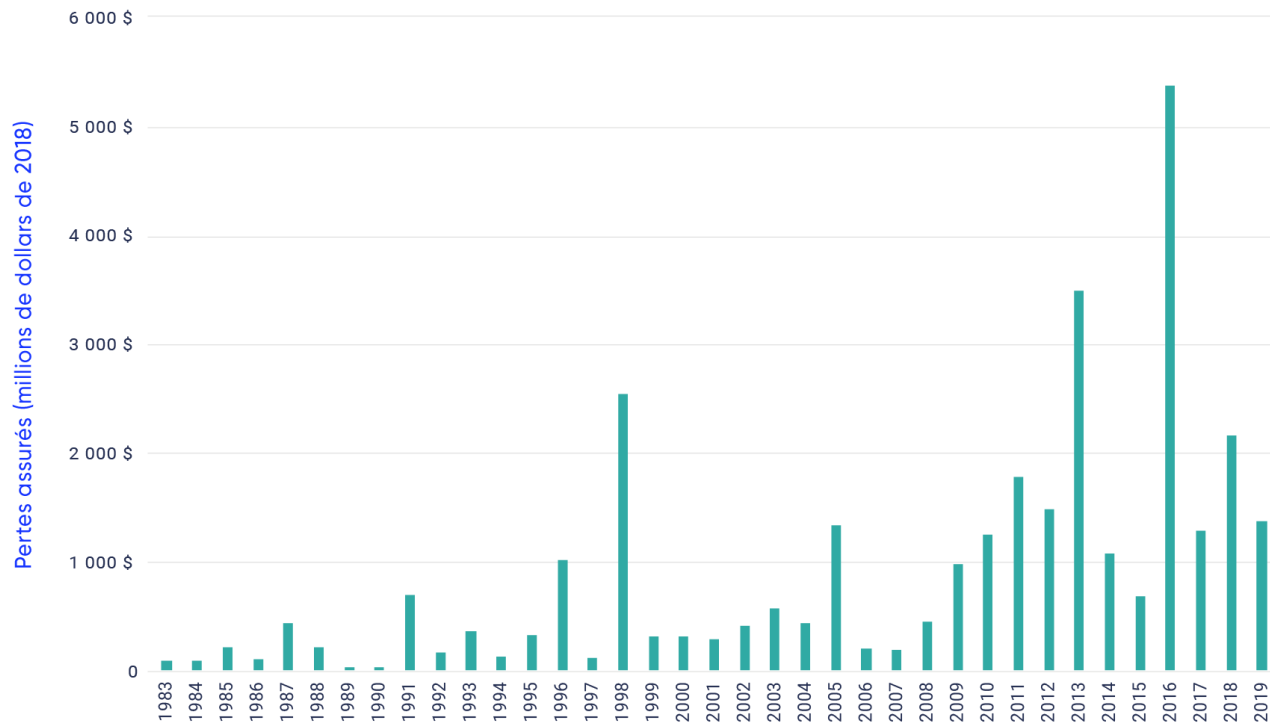


Figure 8.4 : Sinistres assurés annuellement liés aux risques naturels au Canada, en millions de dollars de 2018.
Source des données : CatIQ, s.d.; Bureau d'assurance du Canada, 2020.

On s'attend à ce que les effets physiques des changements climatiques augmentent les pertes de nombreuses manières. Les risques climatiques physiques peuvent entraîner des pertes directes et indirectes pour les gouvernements, les entreprises et les personnes (voir l'encadré 8.4).

Encadré 8.4 : Les risques climatiques physiques pour les gouvernements, les entreprises et les personnes

Gouvernements :

- Coûts des secours et des interventions d'urgence
- Coûts de la relocalisation des populations touchées et à risque
- Coûts de reconstruction
- Coûts de la réhabilitation et du rétablissement
- Passifs éventuels pour les entreprises publiques et les entreprises essentielles à la reprise économique
- Diminution des recettes fiscales découlant de l'interruption des activités des entreprises

- Coût d'opportunité de réaffecter des fonds vers les efforts de reconstruction et de rétablissement
- Augmentation des dépenses pour les programmes de rétablissement social
- Augmentation des coûts d'emprunt et impacts négatifs potentiels sur la cote de la dette souveraine
- Migration de populations en raison de la perte de leurs moyens de subsistance

Entreprises :

- Perturbations relatives aux employés
- Perte d'actifs et d'inventaire
- Reconstruction des actifs
- Perturbation des infrastructures critiques nécessaires aux activités
- Perturbation des chaînes d'approvisionnement
- Répercussions découlant des interruptions des activités
- Augmentation des coûts d'emprunt

Personnes :

- Perte ou détérioration d'habitations, de biens personnels et d'autres actifs
- Perte, détérioration ou perturbation d'infrastructures essentielles (p. ex. écoles, hôpitaux, gestion de l'eau et des eaux usées, transports)
- Risques pour la sécurité alimentaire et la salubrité de l'eau
- Déménagements forcés et frais de subsistance supplémentaires
- Complications sur le plan de la santé mentale
- Perte de connaissances traditionnelles résultant de la perte de vies humaines et perte de moyens de subsistance liés à la relation des peuples autochtones avec la terre

Source : The Geneva Association, 2020

Dans l'ensemble, les études montrent que les investissements réalisés en amont dans le domaine de la résilience aux changements climatiques être rentables. Le rapport de la Commission mondiale sur l'adaptation (2019) estime qu'investir 1 800 milliards de dollars à l'échelle mondiale dans cinq domaines entre 2020 et 2030 pour améliorer la résilience aux changements climatiques pourrait rapporter 7 100 milliards de dollars en bénéfices nets. Des études menées aux États-Unis et au Canada montrent qu'en moyenne, les investissements dans la réduction des risques aux changement climatiques peuvent permettre d'économiser entre quatre et douze dollars pour chaque dollar investi (Porter et Scawthorn, 2020; Porter et coll., 2018).

8.5.2 Gestion des risques liés aux extrêmes climatiques et aux activités connexes au Canada

8.5.2.1 Renseignements sur les risques

Les investissements dans la résilience aux changements climatiques sont plus efficaces s'ils sont soutenus par une évaluation et une tarification des risques climatiques pertinentes pour la prise de décision. La compilation de ces renseignements nécessiterait l'accès à des données fiables sur les dangers, l'exposition et la vulnérabilité, ainsi qu'une méthodologie et des outils permettant de combiner ces données pour produire des renseignements sur les risques (The Geneva Association, 2018b).

Depuis la fin des années 1980, les modèles de risque de catastrophe ont transformé la capacité des compagnies d'assurance à évaluer les risques de phénomènes extrêmes tels que les inondations, les tempêtes, la grêle, les glissements de terrain ainsi qu'à gérer l'activité d'assurance des biens. Ces modèles sont également de plus en plus utilisés par les professionnels de la planification, le secteur financier et les gouvernements pour comprendre les risques de catastrophes naturelles et pour réaliser des évaluations coûts-avantages des projets de réduction des risques (The Geneva Association, 2018b). Au Canada, le secteur de l'assurance souscrit aux outils proposés par les entreprises de modélisation des catastrophes commerciales et les courtiers en (ré)assurance pour les principaux périls canadiens. Les assureurs complètent ces renseignements en acquérant d'autres données et en investissant dans diverses technologies (p. ex. les satellites) pour améliorer la qualité des renseignements sur les risques en temps réel.

Une enquête du BAC menée en 2014 a conclu que la cartographie des zones inondables au Canada était désuète et profondément fragmentée. Depuis 2015, le BAC travaille avec un certain nombre d'entreprises de modélisation des risques de catastrophes commerciales afin de produire des modèles de risques d'inondation et des cartes des zones inondables pour le Canada. Ces cartes ont permis d'aider le groupe de travail national sur le risque financier lié aux inondations, sous l'égide du Conseil consultatif national sur les inondations, à élaborer des options financières pour gérer les coûts des inondations des propriétés résidentielles les plus à risque (BAC, 2019b; Secrétariat des conférences intergouvernementales canadiennes, 2018). En 2015, le gouvernement du Canada a lancé le Programme national d'atténuation des catastrophes, qui a créé des lignes directrices pour la cartographie des zones inondables et financé des activités de cartographie conformes à ces lignes directrices. Le programme a également financé des activités à petite échelle pour réduire les risques d'inondation au niveau des municipalités. De plus en plus, des efforts sont faits par divers intervenants, notamment des organismes fédéraux et provinciaux et des autorités de conservation, pour fournir des cartes des zones inondables.

Cependant, il est difficile pour les propriétaires d'obtenir des renseignements sur les risques d'inondation par voie terrestre, et de nombreuses cartes des zones inondables sont désuètes et fragmentées (Adriano, 2019). De plus, une étude impliquant cinq municipalités a conclu que des données intersectorielles à haute résolution amélioreraient la qualité des cartes des zones inondables et seraient nécessaires pour élaborer des renseignements à plus haute résolution sur les risques d'inondation afin de soutenir les décisions en matière de gestion des risques à l'échelle municipale (Réseau canadien de l'eau et BAC, 2019).

8.5.2.2 Réduction des risques et mesures de prévention

Diverses stratégies de réduction des risques peuvent être entreprises sur la base d'une analyse des risques, par exemple : la construction d'infrastructures résilientes aux changements climatiques, l'amélioration d'infrastructures naturelles comme zones tampons, l'adoption de codes de construction actualisés, l'aménagement du territoire et la gestion du retrait des zones à haut risque. En septembre 2020, il n'existait aucune étude canadienne exhaustive sur les mesures de résilience aux changements climatiques, mais des études à plus petite échelle ont révélé des avantages significatifs. Les études révèlent régulièrement d'importantes occasions de réduire les risques liés aux catastrophes de manière rentable. Par exemple, une étude sur les stratégies possibles de réduction des inondations au province de Québec a révélé « qu'au moins une mesure d'adaptation est bénéfique par rapport à la non-intervention (des bénéfices nets supérieurs à 0) dans 76 % des cas » (Circé et coll., 2016). L'étude de l'IPSC de l'Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base a révélé que le programme apportera 12 dollars de bénéfices pour chaque dollar dépensé (Porter et Scawthorn, 2020).

Le Groupe de travail national sur le risque financier d'inondation a recommandé une approche en trois volets pour faire face aux risques d'inondation (BAC, 2019b). Cette approche comprend notamment les aspects suivants : sensibiliser les consommateurs et les gouvernements afin d'encourager une réduction efficace des risques d'inondation; produire ou améliorer les cartes des risques accessibles au public qui permettent aux assureurs ainsi qu'aux propriétaires et aux gouvernements de collaborer à la détermination, à la mise à jour et à la gestion des risques; et réduire le nombre de Canadiens qui vivent dans des zones à haut risque d'inondation, en mettant en œuvre des mesures de réduction des risques d'inondation et en se retirant stratégiquement des zones à risque élevé.

Les infrastructures naturelles peuvent être un moyen rentable de réduire les pertes financières qui résulteraient autrement des inondations et de créer une zone tampon réduisant les effets des tempêtes dans les régions côtières. Par exemple, les terres humides naturelles assurent le stockage des eaux de pluie, la réduction des inondations, l'amélioration de la qualité de l'eau et le piégeage du carbone, en plus d'offrir d'autres avantages (voir le chapitre « [Services écosystémiques](#) »; Moudrak et coll., 2018).

La mise à jour et l'application appropriée des codes et normes de construction ont permis de réduire très efficacement les pertes dues aux catastrophes (Porter et coll., 2018; Czajkowski et coll., 2017). Il faut du temps pour élaborer, adopter et mettre en œuvre des codes de construction pour les bâtiments privés et publics, les habitations et les infrastructures. Le système canadien prévoit l'obligation de démontrer que les nouvelles approches (telles que la mise à jour des codes) permettraient de réaliser des économies supérieures aux coûts à long terme. De nombreuses maisons, bâtiments et infrastructures au Canada ont été conçus et construits sur la base de codes établis il y a plusieurs décennies. Alors que les nouvelles constructions doivent être conformes aux exigences réglementaires des nouveaux codes de construction, la mise à niveau des structures existantes est volontaire, sauf si elle est requise dans le cadre de l'obtention d'un permis de construire municipal. De plus, le coût de ces travaux est souvent beaucoup plus élevé que celui de l'intégration des dispositifs de résilience aux changements climatiques dans une maison neuve.

Dans ce contexte, l'IPSC et ses 120 assureurs membres fournissent aux propriétaires de maisons des conseils pour évaluer le risque de dommages ainsi que des conseils sur la manière de moderniser les

structures existantes pour faire face à la plupart des risques liés aux changements climatiques. De plus, avec l'augmentation des risques d'inondation au Canada, des efforts sont en cours au sein du CIAC pour fournir des lignes directrices et des normes pour des collectivités résilientes (Moudrak et Feltmate, 2019a), des bâtiments commerciaux résilients (Moudrak et Feltmate, 2019b) et des logements résidentiels résilients (Evans et Feltmate, 2019). Le CIAC a élaboré des programmes structurés de formation en matière de protection contre les inondations à l'intention des inspecteurs en bâtiment et des courtiers d'assurance afin de permettre et d'accélérer l'adoption de mesures de protection contre les inondations (CIAC, s.d.). De plus, dans certaines régions, le secteur de l'assurance a commencé à offrir des primes d'assurance réduites aux propriétaires qui rénovent leur maison pour les protéger contre les inondations (Grzadkowska, 2019). Un autre exemple est The Atmospheric Fund, un organisme à but non lucratif créé par le conseil municipal de Toronto en 1991 pour financer des initiatives locales de lutte contre les changements climatiques et d'amélioration de la qualité de l'air à Toronto par le biais de divers programmes, dont l'amélioration écoénergétique (The Atmospheric Fund, 2020).

Une grande partie des infrastructures publiques principales du Canada ont dépassé leur cycle de vie prévu et doivent être remplacées ou modernisées (Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes, 2019). Le gouvernement du Canada a lancé des initiatives pour soutenir les investissements dans les infrastructures résilientes aux changements climatiques, comme le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (2018), un programme de 2 milliards de dollars pour soutenir les projets d'infrastructure qui améliorent la résilience contre les risques naturels (Infrastructure Canada, 2018). En 2019, le gouvernement du Canada a mis en œuvre l'Optique des changements climatiques pour les projets d'infrastructure dans le cadre de certains programmes, ce qui impose aux promoteurs de projets d'entreprendre une évaluation de la réduction des émissions de GES ou de la résilience aux changements climatiques (Infrastructure Canada, 2019). Ingénieurs Canada, avec le soutien du gouvernement du Canada, a développé le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP), un outil populaire qui est maintenant géré par l'IPSC, le Climate Risk Institute et GIZ GmbH. Il est cependant nécessaire d'en faire plus dans ce domaine (Groupe d'experts sur la finance durable, 2019), et il existe des débouchés importants pour améliorer la résilience des infrastructures du Canada aux changements climatiques.

Les administrations locales sont d'importants chefs de file dans la promotion de la résilience aux changements climatiques. L'IPSC a publié 60 études de cas portant sur des mesures locales au Canada et correspondant aux pratiques exemplaires en matière de résilience aux changements climatiques. Ces études de cas sont présentées dans « Cities Adapt : Celebrating Local Leadership » et portent principalement sur les précipitations extrêmes, la chaleur extrême et les conditions météorologiques extrêmes (Kovacs et coll., 2018; Guilbault et coll., 2016; Kovacs et coll., 2014).

8.5.2.3 Reconstruction

L'aménagement du territoire en tenant compte des risques par les administrations locales constitue un autre outil important pour réduire les risques liés aux changements climatiques. Ce type d'aménagement peut prendre la forme d'un rezonage, d'une interdiction de nouvelles constructions, du rachat de maisons dans les zones à haut risque, d'incitations à la relocalisation des biens existants dans des zones moins à risque et de la restauration des infrastructures naturelles.

Les décisions de reconstruction après des phénomènes extrêmes offrent la possibilité de reconstruire de manière plus résiliente. Cela inclut la reconstruction selon des codes de construction actualisés et d'autres normes de résilience aux changements climatiques, et peut même impliquer la reconstruction dans un endroit moins à risque. Par exemple, à la suite des inondations du printemps 2019, le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec ont soutenu la relocalisation des maisons qui se trouvent dans des zones à haut risque au Québec. Le gouvernement a proposé des rachats de bâtiments résidentiels, a limité les paiements au titre des AAFCC et a encouragé les marchés de l'assurance privée à jouer un rôle plus important (Blewett, 2019; Lau, 2019). Cependant, certains programmes de rachat ont fait l'objet de controverses (CBC News, 2019). Le rezonage pourrait également être politiquement difficile après une catastrophe.

8.5.2.4 Alerte précoce et préparation aux situations d'urgence

Les alertes précoces combinées à la préparation aux situations d'urgence permettent de prendre des mesures pour réduire au minimum les blessures et les pertes de vie en procédant à des évacuations, en fournissant des abris adéquats et en évitant la zone à risque. Elles peuvent également réduire les dommages aux biens en déplaçant, par exemple, des biens de valeur vers des lieux plus sûrs. Les alertes précoces peuvent également accélérer les interventions en cas de catastrophes et la reprise après celles-ci, activer les plans de continuité des activités et accélérer le paiement des indemnités d'assurance (Golnaraghi, 2012).

Au Canada, différents organismes fédéraux, provinciaux et territoriaux sont responsables des alertes pour différents dangers. Bien que la responsabilité de l'alerte précoce puisse incomber à une seule organisation, cette dernière est souvent appuyée par des renseignements fournis par plusieurs organisations travaillant dans différents domaines de compétence. Ce modèle ne fonctionne bien que s'il existe un solide mécanisme de coordination interorganismes, notamment en ce qui concerne les plateformes appropriées d'échange et d'analyse des données (Bednar et coll., 2019, 2018)..

Les autorités municipales et provinciales, en coordination avec Sécurité publique Canada, sont responsables de la mise en œuvre des mesures de préparation aux situations d'urgence sur le terrain. Un certain nombre d'autres intervenants, tels que le secteur privé, les médias et les organisations communautaires à but non lucratif, jouent un rôle essentiel dans la diffusion des alertes et des avertissements, ainsi que dans la sensibilisation et la promotion des mesures à l'échelle communautaire. Dans l'ensemble, il est possible d'améliorer considérablement la préparation en tirant parti des progrès scientifiques qui permettraient de disposer d'un délai plus long pour anticiper les phénomènes et s'y préparer, et de favoriser la coopération entre les organismes (Henstra et Thistlethwaite, 2017; Shrubsole et coll., 2003).

8.5.2.5 Financement et transfert des risques (assurances et autres types de transfert des risques)

Un certain nombre d'incitatifs financiers, notamment des rabais sur les primes d'assurance et des subventions pour les activités de résilience aux changements climatiques, peuvent également encourager des investissements rentables dans la réduction des risques (Porter et coll., 2018; Multihazard Mitigation Council

et Council on Finance, Insurance and Real Estate, 2015). En plus de stimuler les investissements dans la résilience aux changements climatiques, la couverture d'assurance contre les catastrophes joue un rôle important dans l'accélération des efforts de rétablissement afin de ramener les collectivités à la normale. Des études montrent que les pays où le taux de pénétration des assurances est plus faible connaissent une plus forte baisse de la production économique et une plus grande pression fiscale après une catastrophe que les pays où le taux de pénétration des assurances est plus élevé (Wolfrom et Yokoi-Arai, 2016; von Peter et coll., 2013). En moyenne, les catastrophes n'ont pas d'impact durable sur une économie entièrement assurée, mais génèrent une perte de production cumulée de 2,5 % sur 10 ans dans les économies non assurées (von Peter et coll., 2013).

Le secteur de l'assurance propose des solutions spécialisées de transfert des risques pour renforcer la résilience financière aux impacts des phénomènes extrêmes tels que les inondations, les feux de forêt, les vents violents et les tempêtes hivernales, pour inciter à la réduction des émissions de GES et pour encourager l'entrepreneuriat en faveur des technologies vertes et propres. Dans certaines régions à l'étranger, le secteur de l'assurance propose également des produits novateurs pour protéger les budgets publics après les catastrophes, notamment des groupements régionaux et des assurances contre les catastrophes (The Geneva Association, 2018a).

Au Canada, les compagnies d'assurance œuvrent dans un certain nombre de domaines, notamment :

- Concevoir et proposer une large gamme de produits traditionnels et spécialisés pour la protection contre les phénomènes extrêmes tels que les tempêtes, les feux de forêt et les inondations; une assurance pour la restauration des bâtiments écologiques et une couverture pour la construction écologique;
- Mettre au point des méthodes pour améliorer la couverture d'assurance;
- Proposer des produits d'assurance avec des incitatifs pour la réduction des risques et de l'empreinte carbone;
- Lancer des centres d'excellence sur l'adaptation et investir dans la recherche bilatérale et multilatérale sur la résilience et l'adaptation aux changements climatiques (comme l'IPSC, le CIAC et Partners for Action);
- Partager des lignes directrices concrètes sur la réduction et la prévention des risques pour les gouvernements, les entreprises, les collectivités et les ménages sur la base de leurs recherches;
- Investir dans les technologies les plus récentes afin d'améliorer leur capacité à accélérer les évaluations et les paiements des indemnités après un phénomène extrême;
- En ce qui concerne la gestion des actifs, les compagnies d'assurance-vie canadiennes investissent dans des obligations qui financent des projets de réduction des émissions de GES et d'adaptation.

Au Canada, le secteur de l'assurance collabore activement avec le gouvernement aux échelons fédéral, provincial et municipal afin d'améliorer la résilience de la société aux inondations et aux feux de forêt. Il explore également les possibilités de partenariats public-privé afin d'améliorer l'assurabilité et de mobiliser des capitaux à long terme pour des infrastructures résilientes aux changements climatiques et à faibles

émissions de carbone. Par exemple, par l'intermédiaire du Groupe de travail national sur le risque financier d'inondation, le secteur partage des cartes des risques d'inondation, fournit des lignes directrices pour réduire les risques d'inondation, élabore des solutions pour gérer le risque financier d'inondation pour les habitations résidentielles à haut risque (BAC, 2019b).

8.6 Les litiges relatifs aux changements climatiques se multiplient contre les gouvernements au Canada

Au Canada, les litiges relatifs aux changements climatiques se multiplient contre les gouvernements et leurs organismes. Il y a de plus en plus de litiges visant à contraindre ou à modifier les mesures, les autorisations ou les décisions gouvernementales, ainsi que des poursuites judiciaires visant à obtenir des compensations financières liées au fait que les infrastructures n'ont pas été adaptées.

Des décisions judiciaires majeures au Canada et ailleurs ont accepté les preuves scientifiques des changements climatiques anthropiques et des risques matériels associés. Certains tribunaux étrangers ont statué en faveur des demandeurs en matière de climat pour enjoindre aux gouvernements de prendre des mesures d'atténuation ou d'adaptation aux changements climatiques, et les gouvernements du Canada sont confrontés à des litiges stratégiques similaires. Parallèlement, des groupes d'intérêt (et certains gouvernements) ont contesté la validité des lois relatives aux changements climatiques et cherchent de plus en plus à obtenir une révision judiciaire ou des appels des approbations réglementaires ou administratives accordées pour de nouveaux projets ou propositions susceptibles d'augmenter les émissions de GES en aval et en amont. Les demandeurs canadiens sont également de plus en plus nombreux à intenter des poursuites pour des dommages liés à des phénomènes météorologiques violents et à des défaillances d'infrastructures. Les gouvernements et leurs organismes qui possèdent et exploitent des infrastructures doivent gérer la responsabilité potentielle liée à un manquement à adapter les infrastructures aux changements climatiques.

8.6.1 Introduction

Un litige relié aux changements climatiques est un litige dans lequel les changements climatiques et leurs impacts sont un élément clé ou majeur. Les litiges se sont multipliés à l'échelle mondiale, comme en témoignent les bases de données gérées par le Sabin Center for Climate Change Law de la Columbia Law School et par le Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment de la London School of Economics (ces « bases de données climatiques » ont été consultées pour la dernière fois le 30 septembre 2020). La majorité des litiges relatifs aux changements climatiques dans le monde impliquent les gouvernements et leurs organismes en tant que défendeurs, et les litiges au Canada ne font pas exception (voir la figure 8.5).

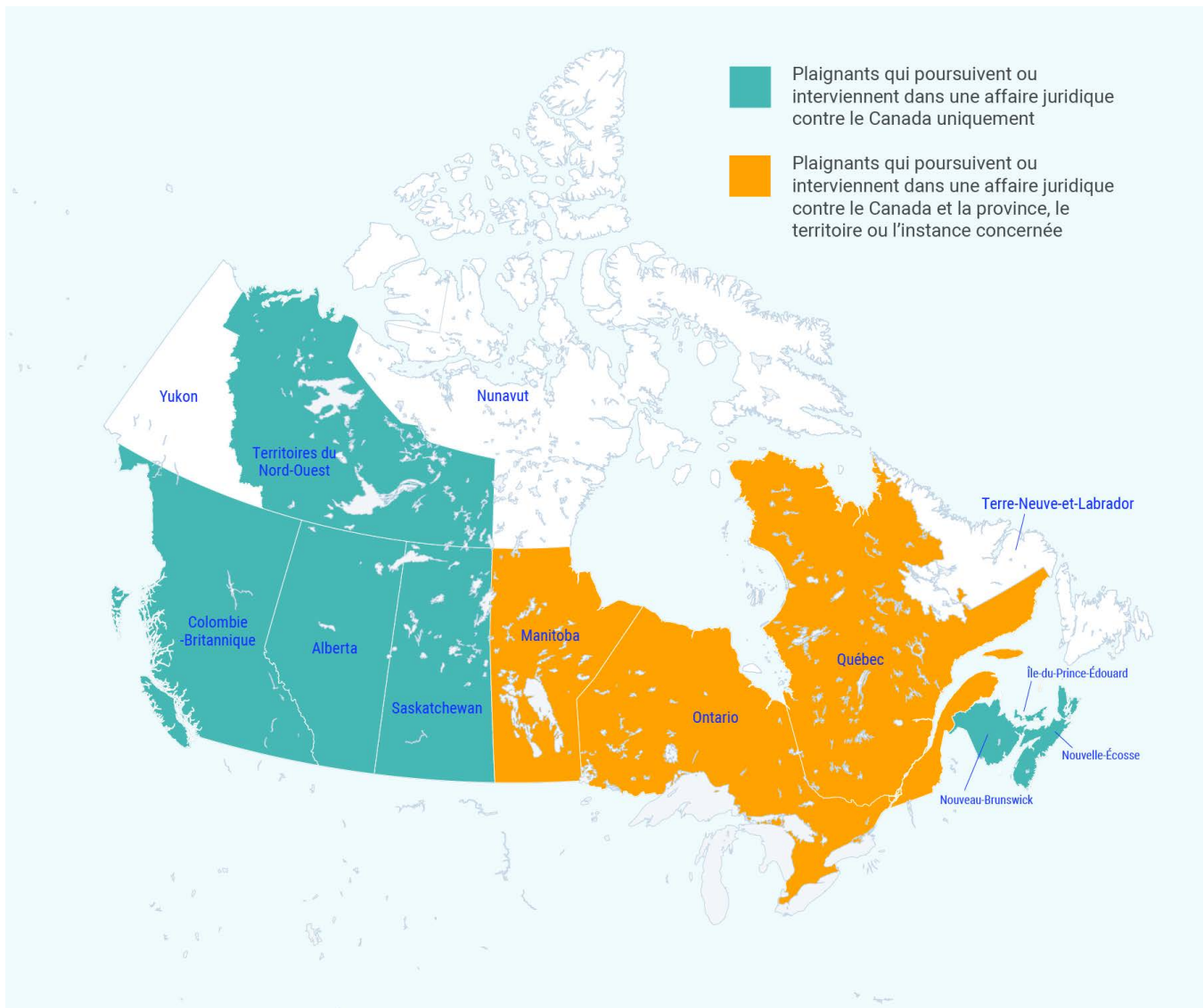


Figure 8.5 : Provinces et territoires canadiens comptant des demandeurs dans des litiges en cours liés aux changements climatiques en date du 30 septembre 2020. Source des données : Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, 2020; Sabin Center for Climate Change Law, 2020.

8.6.2 Litiges visant à contraindre le gouvernement à agir

Les litiges stratégiques visant à contraindre certaines mesures gouvernementales se sont multipliés dans le monde depuis qu'un groupe d'intérêt néerlandais a remporté une décision en 2015 ordonnant au gouvernement néerlandais d'augmenter son objectif national de réduction des émissions pour être en conformité avec les recommandations du GIEC (*Fondation Urgenda c. État des Pays-Bas*). La Cour

néerlandaise a conclu que l'état avait une obligation de diligence envers ses citoyens pour prendre des mesures d'atténuation de changements climatiques, en se fondant notamment sur la Constitution néerlandaise et la Convention européenne des droits de l'homme (dont les Pays-Bas sont signataires). Ce raisonnement fondé sur les droits a été repris trois mois plus tard au Pakistan lorsque la Haute Cour de Lahore a ordonné au Pakistan de mettre en œuvre le plan d'adaptation aux changements climatiques qu'il avait élaboré, jugeant qu'un retard violait les droits fondamentaux à la vie, à la dignité humaine, à la propriété et à l'information prévus par sa Constitution (*Leghari c. Fédération du Pakistan*).

Urgenda a été confirmée en appel en 2018, et finalement confirmée par la Cour suprême néerlandaise en décembre 2019 (*Fondation Urgenda c. État des Pays-Bas*). Les tribunaux ont conclu que le gouvernement néerlandais avait une obligation de diligence envers ses citoyens en vertu des dispositions de la Convention européenne des Droits de l'Homme relatives au droit à la vie et au droit à la vie privée et familiale. Ils ont conclu que le gouvernement néerlandais avait le devoir de prendre des mesures concrètes raisonnables face à la « menace réelle d'un changement climatique dangereux ».

Encouragés par ces décisions, les demandeurs canadiens avaient lancé quatre poursuites distinctes basées sur les droits en date du 30 septembre 2020. Avant 2018, il n'y a eu que deux causes canadiennes dans lesquelles les tribunaux ont été invités à examiner l'inaction alléguée du gouvernement fédéral en matière de changements climatiques. La première cause, *Ami(e)s de la Terre c. Canada (Gouverneur en conseil)*, était liée à des violations présumées de la *Loi de mise en œuvre du Protocole de Kyoto*, et la seconde, *Turp c. Canada (Justice)*, était liée à la décision du gouvernement de se retirer du protocole de Kyoto. Dans la première cause, la Cour a statué que la législation relative à Kyoto ne permettait pas une révision judiciaire sur le fond et ne créait pas d'obligation de réglementer. Dans l'affaire *Turp*, la Cour a estimé qu'en l'absence de contestation en vertu de la Charte canadienne des droits et libertés, une décision prise dans l'exercice de pouvoirs prérogatifs relatifs à des traités internationaux était de nature législative. Les deux causes reflètent les principes du droit constitutionnel canadien selon lesquels l'élaboration des lois, l'exercice d'un pouvoir discrétionnaire politique du gouvernement inscrit dans les lois et l'abrogation des lois sont des décisions intrinsèquement politiques (Hogg, 2007). Ces décisions sont généralement protégées contre une révision judiciaire ou contre des plaintes pour négligence par le principe de l'immunité législative.

En novembre 2018, un groupe d'intérêt prétendant représenter les citoyens québécois âgés de 35 ans et moins a intenté une action collective au Québec contre le gouvernement du Canada (*Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada*). Le recours visait à obtenir une déclaration selon laquelle l'inaction du gouvernement en matière de changements climatiques avait porté atteinte à leurs droits fondamentaux « à la vie, à l'intégrité et à la sécurité de la personne » et « à l'égalité » (« droits protégés par la Charte ») en vertu de la Charte canadienne des droits et libertés et de la Charte des droits et libertés de la personne du Québec, et avait enfreint leur « droit à un environnement sain, respectueux de la biodiversité » en vertu de la Charte québécoise. Le recours demandait également des dommages-intérêts punitifs. En juillet 2019, la Cour supérieure du Québec a décidé que la cause n'était pas correctement définie comme une action collective, mais a tout de même déclaré que les violations présumées des chartes canadienne et québécoise étaient des questions justiciables (c.-à-d. non législatives ou politiques).

Plus tard, en octobre 2019, 15 jeunes ont porté plainte devant la Cour fédérale, reprochant au gouvernement du Canada les actions suivantes : avoir causé, favorisé et autorisé un niveau élevé d'émissions de GES inacceptable, avoir adopté mais pas réussi à atteindre des objectifs de réduction des émissions de GES

d'un niveau inacceptablement bas et avoir activement aidé des industries et des activités utilisant des combustibles fossiles qui émettent un niveau élevé d'émissions de GES incompatible avec un système climatique stable (*La Rose et al. c. Canada*). Les demandeurs affirment que ces actions et inactions alléguées ont porté atteinte à leurs droits protégés par la Charte et que le gouvernement du Canada a l'obligation constitutionnelle et de common law de protéger l'intégrité des ressources naturelles communes qui sont fondamentales pour la vie et la liberté humaines. Cette dernière obligation présumée, connue sous le nom de doctrine de la fiducie d'intérêt public, n'avait pas été formellement appliquée auparavant par les tribunaux canadiens (*Burns Bog Conservation Society c. Canada*). Les demandeurs veulent que le gouvernement reconnaisse ses obligations et « mette en œuvre un plan de rétablissement climatique exécutoire ». En février 2020, le gouvernement fédéral a déposé sa défense en réponse à cette déclaration qui, entre autres, cite et accepte les conclusions du <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>. Le gouvernement fédéral y soutient que les demandeurs n'ont pas de lien suffisant avec la question pour porter plainte, que les demandes ne sont pas justiciables et qu'elles ne donnent pas lieu à des causes d'action valables en vertu de la Constitution ou des droits protégés par la Charte, ou en vertu de la common law.

Une nouvelle action a été intentée en novembre 2019 par sept jeunes devant la Cour supérieure de l'Ontario. Ces demandeurs allèguent que le gouvernement de l'Ontario a violé leurs droits protégés par la Charte en renonçant à sa responsabilité de lutter contre les changements climatiques. Les demandeurs demandent, entre autres, des déclarations selon lesquelles l'objectif actuel de l'Ontario viole les droits des jeunes et des générations futures protégés par la Charte, que la Charte canadienne des droits et libertés comprend le droit à un système climatique stable et une ordonnance obligeant l'Ontario à adopter des objectifs de réduction des émissions plus agressifs (*Mathur et al. c. Sa Majesté la Reine du chef de l'Ontario*). En avril 2020, le gouvernement de l'Ontario a répondu en déposant un avis de demande de rejet. Le gouvernement y soutient que les demandeurs n'ont pas qualité pour agir, que les questions soulevées et les réparations demandées ne sont pas justiciables, que la Charte ne comprend pas le droit à un système climatique stable et que les allégations de préjudice sont impossibles à prouver.

En février 2020, deux chefs héréditaires de la Première Nation Wet'suwet'en de Colombie-Britannique ont intenté une action représentative devant la Cour fédérale, alléguant que l'inaction du gouvernement du Canada en matière de changements climatiques, y compris son approbation de projets d'infrastructure émetteurs de GES, porte atteinte aux droits de leurs électeurs en vertu de la Charte et constitue une violation du devoir du gouvernement, en vertu de la *Loi constitutionnelle*, de faire des lois pour « la paix, l'ordre et le bon gouvernement » (*Lho'imggin et al. c. Sa Majesté la Reine*). Les demandeurs cherchent à obtenir une ordonnance obligeant le gouvernement à modifier chacune de ses lois sur l'évaluation environnementale qui s'appliquent aux projets existants à fortes émissions de GES afin de permettre l'annulation de l'approbation des projets si le Canada n'est pas en mesure de respecter ses engagements en vertu de l'Accord de Paris ou s'il considère que les changements climatiques constituent une urgence nationale, ainsi qu'une ordonnance obligeant le gouvernement à établir un compte annuel indépendant de ses émissions cumulatives de GES dans un format qui permet l'évaluation par rapport à ses engagements de réduction des GES.

8.6.3 Litiges visant à modifier les actions, approbations ou décisions du gouvernement

Les gouvernements canadiens et leurs organismes sont confrontés à un nombre croissant de litiges depuis 2015 concernant les approbations ou les permis accordés pour de nouveaux projets ou propositions d'infrastructure susceptibles d'augmenter les émissions de GES en amont ou en aval. En 2015, un groupe d'intérêt a contesté deux décisions concernant la délivrance de permis pour un projet d'agrandissement d'une installation de manutention et de stockage de charbon en Colombie-Britannique (*Voters Taking Action on Climate Change c. Energy and Mines of British Columbia*). La Cour a estimé que le groupe n'avait pas qualité pour agir. Dans une autre affaire très médiatisée, un certain nombre de municipalités et de groupes d'intérêt ont demandé une révision judiciaire de l'approbation, en 2016, du prolongement du pipeline Trans Mountain, y compris, dans une cause non fructueuse, en demandant que l'Office national de l'énergie tienne compte des impacts des changements climatiques dans son évaluation (*Nation Tsleil-Waututh c. Procureur général du Canada*). Après que l'autorisation de 2016 ait été annulée pour d'autres raisons en 2018 et que les actifs du pipeline aient été vendus au gouvernement fédéral, une nouvelle autorisation a été accordée en juin 2019. Un certain nombre de groupes ont demandé une révision judiciaire de cette décision, en avançant notamment des arguments liés aux changements climatiques, mais aucune des demandes liées aux changements climatiques n'a pu être portée devant la Cour suprême du Canada. Des arguments liés aux changements climatiques ont également fait surface dans le processus d'approbation du projet Coastal GasLink et ont en partie motivé *Lho'imggin* (*Lho'imggin et al. c. Sa Majesté la Reine*). Des préoccupations similaires ont conduit à une demande de révision judiciaire, lancée en mai 2020, d'une évaluation régionale sur les impacts du forage exploratoire au large des côtes de Terre-Neuve-et-Labrador, sur laquelle s'appuie l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (*Fondation Sierra Club Canada c. Canada [Environnement et Changement climatique]*).

Dans une autre affaire visant à modifier une décision gouvernementale, un groupe d'intérêt a déposé une demande alléguant que le gouvernement de l'Ontario avait omis de consulter le public en vertu de la Charte des droits environnementaux de l'Ontario lorsqu'il a révoqué les règlements du programme de plafonnement et d'échange de l'Ontario en 2018. La Cour supérieure de l'Ontario a jugé, en 2019, que l'absence de consultation était illégale (*Greenpeace Canada c. ministre de l'Environnement, de la Conservation et des Parcs*), mais n'a pas imposé de mesures correctives.

Des parties qui ne sont pas satisfaites des conséquences des nouvelles lois et réglementations liées aux changements climatiques ont également intenté des procès pour les contester. Syncrude Canada a contesté sans succès la validité du Règlement sur les carburants renouvelables établi en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (*Syncrude Canada Ltd. c. Canada [Procureur général]*). L'objectif du règlement, qui exigeait qu'un certain pourcentage des carburants diesel soit du carburant renouvelable, était de réduire les émissions de GES. Plus récemment, certaines provinces ont contesté la législation fédérale sur le climat par des références constitutionnelles relatives au système fédéral de tarification du carbone, y compris la taxe sur le carbone et la législation sur la tarification des émissions de GES. Il y a eu trois décisions rendues par des cours d'appel provinciales. La majorité de la Cour, tant en Saskatchewan qu'en Ontario, pour des raisons légèrement différentes, s'est prononcée en faveur de la constitutionnalité de la législation. La majorité de la Cour d'appel de l'Alberta a conclu le contraire. Les décisions ont finalement fait l'objet d'un appel devant la Cour suprême du Canada. Toutes les décisions de la Cour d'appel ont expressément accepté la gravité de

la question des changements climatiques d'origine anthropique au Canada, le risque physique et la nécessité d'une action immédiate pour contrôler les risques liés aux changements climatiques (Renvoi relatif à la *Greenhouse Gas Pollution Pricing Act*, 2019 SKCA 40; Renvoi relatif à la *Greenhouse Gas Pollution Pricing Act*, 2019 ONCA 544; Renvoi relatif à la *Greenhouse Gas Pollution Pricing Act*, 2019 ABCA 283).

8.6.4 Litiges liés au manquement à adapter les infrastructures

On observe de plus en plus de litiges au Canada et ailleurs (Adler, 2018; Gundlach et Klein, 2018; Moran et Mihaly, 2018; Mahony, 2020) liés au manquement à adapter les infrastructures aux risques et impacts physiques des changements climatiques, qui sont de plus en plus prévisibles. Les poursuites liées aux inondations contre les provinces canadiennes, les municipalités, les gestionnaires de bassins versants (p. ex. les autorités de conservation) et autres sont en augmentation (Moudrak et Feltmate, 2019a). Il s'agit notamment de recours collectifs intentés contre les villes de Thunder Bay et de Stratford pour négligence dans la conception, la construction, l'inspection, l'entretien et la réparation des installations d'eaux pluviales et d'égouts, et contre les gouvernements de Manitoba et de l'Ontario pour négligence et nuisance dans la gestion des structures de contrôle des eaux (Moudrak et Feltmate, 2019a). De plus, des actions collectives et des poursuites individuelles ont été intentées au Québec contre plusieurs municipalités et le gouvernement du Québec pour négligence dans le cadre des inondations printanières de 2017 et 2019 dans cette province (c.-à-d. *Richard Lauzon c. Municipalité Régionale du Comté (MRC) de Deux-Montagnes*, Ville de Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Procureur général du Québec).

Les poursuites de ce type au Canada et ailleurs s'appuient de plus en plus sur les progrès de la science de l'attribution aux changements climatiques (Burger et coll., 2020; Setzer et Vanhala, 2019; Marjanac et Patton, 2018). Avec les changements climatiques, des phénomènes météorologiques plus violents et fréquents au Canada (Zhang, et coll., 2019) pourraient, de manière prévisible, mettre à rude épreuve ou endommager les infrastructures et réduire leur durée de vie utile prévue. Un tribunal de l'Ontario, par exemple, a conclu que les risques de nids de poule et d'emportement des routes étaient accrus par les cycles de gel/dégel et les fortes pluies (*Bishop c. municipalité régionale de Durham*). Les impacts des phénomènes climatiques progressifs, lents ou chroniques peuvent avoir le même effet. Il peut également y avoir des effets en cascade et des effets cumulatifs. Cela crée un risque de dommages corporels, sanitaires et matériels. Les parties lésées qui n'ont pas de couverture d'assurance ou d'accès aux secours en cas de catastrophe ou à des fonds d'indemnisation spéciaux peuvent tenter des poursuites pour obtenir une compensation financière (c.-à-d. des dommages-intérêts) en vertu des principes de droit commun de la négligence ou de la nuisance.

Dans une cause de négligence, le demandeur doit établir, entre autres, que le défendeur avait une obligation de diligence envers la partie lésée et qu'il a commis un acte ou une omission qui enfreint une norme de diligence raisonnable (c.-à-d. qu'il aurait dû prévoir les effets des changements climatiques sur les infrastructures et prendre des décisions appropriées, mais ne l'a pas fait). L'obligation de diligence d'un gouvernement peut être établie par une loi, et cette loi peut également créer un droit à des dommages-intérêts pour toute personne lésée. Par exemple, la législation municipale de certaines provinces établit une obligation de diligence et un droit légal à des dommages-intérêts en lien avec l'entretien des routes. Si la loi ne crée pas une obligation de diligence explicite, un examen du contexte sera effectué pour voir si une

obligation de diligence *prima facie* peut être établie. Si oui, cette obligation sera généralement respectée si la ou les décisions du gouvernement concernant l'infrastructure sont des décisions opérationnelles et non des décisions politiques, qui sont protégées par le principe de l'immunité législative (*Cooper c. Hobart*). La ligne de démarcation entre les décisions politiques et les décisions opérationnelles n'est pas toujours claire, mais, en common law, les obligations d'entretenir les infrastructures d'une manière particulière, d'effectuer des réparations ou de procéder à des inspections régulières peuvent être considérées comme opérationnelles. En revanche, les décisions de construire de nouvelles infrastructures dans le cadre de la planification de l'adaptation, où des facteurs sociaux, économiques et politiques sont en jeu, seront probablement considérées comme des décisions politiques. La ligne de démarcation entre ces types de décisions peut également être modifiée par la loi (p. ex. la *Loi de 2019 sur la responsabilité de la Couronne et les instances l'intéressant*, L.O. 2019, chap. 7, annexe 17). Une plainte pour nuisance contre un gouvernement exige que le demandeur démontre que les infrastructures dont le gouvernement est propriétaire ou exploitant (p. ex. les barrages et autres structures de contrôle des eaux) ont causé des dommages physiques réels aux terres d'une autre partie, ou ont entravé de manière substantielle et déraisonnable l'utilisation de ces terres (*Anderson c. Manitoba*). Si la nuisance touche le public, comme le blocage d'une voie publique, elle peut être qualifiée de nuisance publique (Linden et Feldthusen, 2007). Dans une plainte pour nuisance, il n'est pas pertinent de savoir si les actions ou les décisions concernant l'infrastructure sont politiques ou opérationnelles.

Un gouvernement peut avoir une défense dans le cadre d'une plainte pour négligence ou nuisance si une loi pertinente limite ou exclut clairement la responsabilité du gouvernement dans les circonstances. Certaines lois provinciales et municipales prévoient de telles défenses. Par exemple, la législation de certaines provinces prévoit qu'une municipalité ne peut être tenue responsable de nuisance, en général ou pour des types spécifiques de phénomènes qui pourraient être classés comme nuisances (p. ex. les inondations) (p. ex. *Loi de 2001 sur les municipalités*, L.O. 2001, chap. 25, par. 449(1) et le *Local Government Act*, RSBC 2015, ch. 1, art. 744). Une défense peut également être fondée sur le « fondement législatif » si le dommage à l'origine de la demande est la conséquence inévitable de l'exécution d'un engagement en vertu d'un fondement législatif. En fin de compte, lorsqu'un gouvernement souhaite limiter sa responsabilité (et, dans le cas d'une province, celle de ses municipalités) en cas de plaintes relevant de la common law (p. ex. en cas d'inondation), il peut promulguer ou modifier une loi à cet effet. Par exemple, le gouvernement de l'Ontario a modifié la *Loi de 2001 sur les municipalités* (Ontario) afin d'exclure la responsabilité pour les nuisances liées à l'écoulement d'eau ou d'eaux usées provenant d'égouts ou d'ouvrages hydrauliques.

Le principe de renforcer la résilience aux changements climatiques grâce aux infrastructures est néanmoins un pilier important de l'adaptation. En définitive, le risque de litige dans ce contexte doit être considéré comme un moteur de l'adaptation aux changements climatiques.

8.7 Les litiges relatifs aux changements climatiques contre le secteur privé sont un risque potentiel

Bien qu'il n'y ait eu pratiquement aucun litige relatif aux changements climatiques au Canada contre des entreprises du secteur privé, les entreprises canadiennes évaluent de plus en plus les risques potentiels de litiges relatifs aux changements climatiques.

Les risques de litiges potentiels pour le secteur privé découlent d'une divulgation inadéquate des risques liés aux changements climatiques, de l'incapacité d'adapter les infrastructures en fonction des risques matériels et, dans certains cas, d'une contribution présumée aux changements climatiques et aux dommages connexes. Les risques de litiges de cette nature sont devenus bien connus à la suite de litiges aux États-Unis et ailleurs. Un litige contre une entreprise, même s'il échoue, peut être extrêmement coûteux pour l'entreprise et ses assureurs, peut avoir des répercussions importantes sur la réputation de l'entreprise et peut potentiellement affecter l'accès de l'entreprise au capital. Les conseils d'administration et les cadres supérieurs responsables de la gestion des risques considèrent de plus en plus les litiges relatifs aux changements climatiques comme une composante de ce risque.

8.7.1 Responsabilité potentielle en matière de divulgation

Les sociétés cotées en bourse peuvent engager leur responsabilité en vertu des lois sur les valeurs mobilières applicables en ce qui concerne la divulgation ou la non-divulgation de risques importants, y compris les risques liés aux changements climatiques (ACVM, 2018). Ces divulgations ou non-divulgations peuvent concerner les risques matériels et de transition, leurs répercussions financières ainsi que les mesures prises pour les atténuer ou s'y adapter (ACVM, 2019).

Les autorités canadiennes de réglementation des valeurs mobilières disposent de pouvoirs très variés pour poursuivre les entreprises, leurs directeurs et leurs administrateurs responsables pour des infractions en matière de divulgation. Ces infractions peuvent comprendre des violations des règles exigeant la divulgation de renseignements importants dans les documents de divulgation continue (tels que les rapports de gestion ou les notices annuelles). Plus généralement, il s'agit également des cas où les documents d'offre, les états financiers ou les documents de divulgation continue contiennent des déclarations qui sont trompeuses ou fausses, ou n'énoncent pas un fait qui doit être déclaré ou qui est requis pour veiller à ce que les déclarations ne soient pas trompeuses (p. ex. la *Loi sur les valeurs mobilières*, L.R.O. 1990, chap. S5, tel que modifié, [« LVMO »] Partie XXII). Ces déclarations sont jugées selon le critère de l'importance relative au moment et à la lumière des circonstances dans lesquelles elles ont été faites. Les organismes de réglementation des valeurs mobilières et les tribunaux canadiens appliquent généralement le « critère de l'investisseur raisonnable » : les renseignements seraient probablement considérés comme importants si la décision d'un investisseur raisonnable d'acheter, de détenir ou de vendre des valeurs mobilières est susceptible d'être influencée ou modifiée s'il y a omission ou inexactitude des renseignements (p. ex. la LVMO, formulaire 51-102 F2 à la partie (1)e).

Les émetteurs et leurs directeurs et administrateurs responsables peuvent également être poursuivis par les investisseurs en dommages-intérêts en vertu des dispositions sur la responsabilité civile des lois provinciales sur les valeurs mobilières (p. ex. la LVMO, partie XXIII). Cela peut se produire lorsque des investisseurs achètent des valeurs mobilières dans le cadre d'une offre dont le document d'offre contient une « information trompeuse ». Cela peut également se produire lorsque des investisseurs achètent ou vendent des titres déjà émis sur le marché secondaire (c.-à-d. en bourse) si, au moment de leur achat ou de leur vente, soit 1) la société a omis de divulguer un « changement important » dans ses activités, ses opérations ou son capital conformément à la législation sur les valeurs mobilières, soit 2) ses documents de divulgation continue, d'autres documents généralement mis à la disposition des investisseurs (notamment les informations publiées sur son site Web, les rapports sur la responsabilité d'entreprise, la résilience aux changements climatiques ou le développement durable) ou les déclarations orales publiques faites au nom de la société (par la direction ou les administrateurs) contiennent une « information trompeuse ». Une « information trompeuse » est une déclaration inexacte d'un « fait important » ou une omission de déclarer un « fait important » qui doit être déclaré ou qui est nécessaire pour faire en sorte qu'une déclaration ne soit pas trompeuse à la lumière des circonstances dans lesquelles elle a été faite. Le caractère « important » d'un changement ou d'un fait est mesuré par un test d'« impact sur le marché » : peut-on raisonnablement s'attendre à ce que ce changement ou ce fait ait un effet significatif sur le prix ou la valeur de marché des titres concernés? La réponse à la question juridique concernant les renseignements liés aux changements climatiques qui peuvent être importants pour un « investisseur raisonnable » ou constituer un « fait important » est susceptible d'évoluer et continuera à évoluer au fur et à mesure de la progression des impacts des changements climatiques.

Au 30 septembre 2020, aucune poursuite pour divulgation relative aux changements climatiques n'avait été intentée contre des émetteurs au Canada, mais la possibilité de telles poursuites a fait l'objet de commentaires dans les milieux universitaires (Sarra et Williams, 2018; Williams et Routliff, 2017). Dans leurs analyses, les auteurs ont défini les types possibles de poursuites relatives à la divulgation qui pourraient faire surface au Canada : l'omission de discuter des risques financiers importants de la transition vers des stratégies à faibles émissions de carbone (inclus comme l'exigent les facteurs réglementaires et sociétaux); les inexactitudes importantes de la valeur des actifs d'une entreprise à la lumière des « actifs délaissés » (c.-à-d. ceux qui sont trop coûteux à développer ou à exploiter) et du carbone inutilisable; les inexactitudes importantes relatives aux risques de la poursuite de l'extraction et de l'utilisation d'un produit à fortes émissions de carbone, tel que le pétrole, le gaz ou le charbon.

À l'étranger, des poursuites pour défaut de divulgation et déclarations inexactes ont été engagées en Australie et aux États-Unis. Dans plusieurs poursuites intentées contre Exxon Mobil Corporation aux États-Unis, par exemple, on reproche à l'entreprise d'avoir fait de fausses déclarations importantes dans ses documents de divulgation continue sur la manière dont elle gérait les risques liés aux changements climatiques dans ses investissements et ses activités. La première affaire très médiatisée de ce type (*People of the State of New York c. Exxon Mobil Corporation*), qui portait sur la période 2013–2016, a été tranchée en faveur d'Exxon en décembre 2019. La Cour suprême de New York a déterminé, sur la base des faits particuliers dont elle était saisie, qu'il n'y avait pas de preuve de fausses déclarations importantes (déterminées en fonction du critère de l'« investisseur raisonnable » prévu par les lois américaines sur les valeurs mobilières, qui est similaire à celui du Canada) et qu'il n'y avait pas de preuve que la divulgation litigieuse ait un quelconque impact sur le marché. La décision n'a pas été portée en appel. Certaines actions ont été intentées en rapport avec la divulgation de risques matériels : par exemple, contre des compagnies d'électricité en Californie et leurs

assureurs. Dans cette affaire, les investisseurs ont allégué une fausse déclaration concernant l'exposition des entreprises aux feux de forêt, notamment les mesures prises pour améliorer et entretenir les infrastructures à la lumière des conditions connues relatives aux changements climatiques et des risques de feux de forêt qui en découlent (*York County c. Rambo; Barnes c. Edison International*).

8.7.2 Litiges potentiels liés au manquement à adapter les infrastructures

Pour les entreprises, les cabinets professionnels et les personnes qui développent, conçoivent, construisent, possèdent, exploitent, entretiennent ou réparent des infrastructures, il existe des risques de litiges liés aux changements climatiques pour adapter les infrastructures, qui sont similaires aux risques décrits pour les propriétaires et les exploitants d'infrastructures gouvernementales. Le risque de litiges pour négligence ou nuisance contre des acteurs du secteur privé est cependant plus élevé que pour les gouvernements, car il n'existe pas de principe d'immunité correspondant et il y a rarement des limitations de responsabilité prévues par la loi pour le secteur privé. Les propriétaires d'infrastructures et les professionnels chargés de la conception limitent de plus en plus les risques juridiques et physiques pour leurs installations en planifiant les effets des changements climatiques sur toute la durée de vie de leurs installations, notamment en réalisant des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques et en choisissant en conséquence les caractéristiques de conception, les solutions de rechange, l'emplacement du site et les mesures de réduction des risques (Goldstein et coll., 2019; Adler, 2018; Gundlach et Klein, 2018).

8.7.3 Litiges portant sur la responsabilité des entreprises en matière de changements climatiques

Pour les entreprises opérant dans les secteurs de l'énergie ou des ressources, une tendance importante est le nombre croissant de poursuites dans le monde contre les grands producteurs de carbone en vue de leur imputer leur responsabilité présumée dans les changements climatiques. Cette tendance a débuté suite à une étude de Richard Heede (2014) qui a cartographié et quantifié les émissions cumulées des 90 plus grands producteurs de carbone de 1854 à 2010—surnommés les « Carbon Majors » en anglais. L'étude a été élaborée pour les juristes qui cherchent à établir légalement un lien de causalité entre les activités des entreprises et les changements climatiques (Setzer et Vanhala, 2019). Elle a été utilisée pour lancer un procès qui fera autorité contre un grand producteur d'électricité allemand en 2015 (*Lliuya c. RWE AG*), lequel est en cours. Les résultats des émissions cumulées sont mis à jour chaque année (voir la figure 8.6; Climate Accountability Institute, 2019), et les chercheurs collaborent avec Heede pour combiner ces travaux avec la science de l'attribution des phénomènes météorologiques extrêmes (Ekwurzel et coll., 2017).

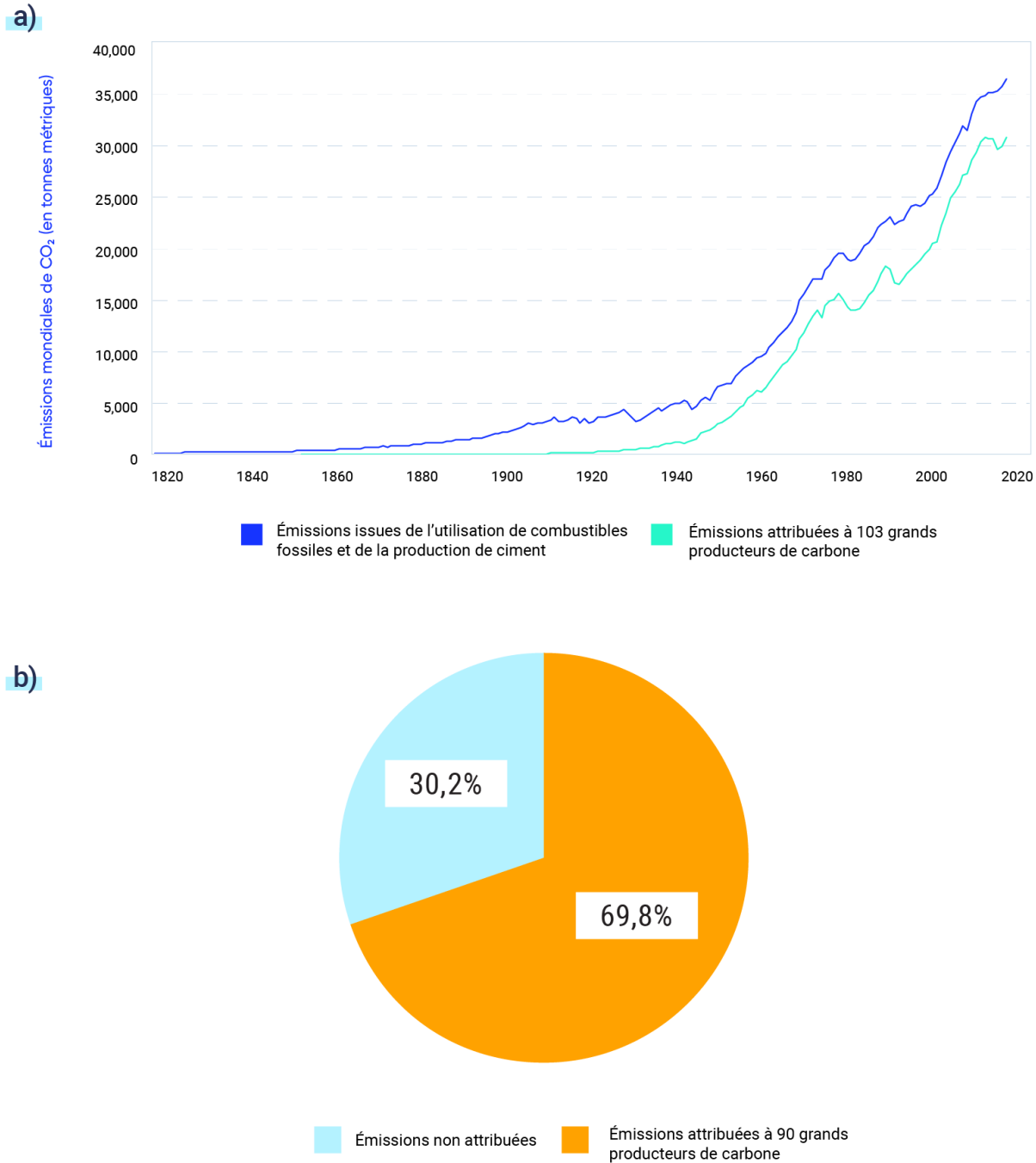


Figure 8.6 : a) Émissions mondiales annuelles de CO₂ provenant de l'utilisation de combustibles fossiles et de la production de ciment pour la période 1810–2017 (bleu foncé) et attribuées à 103 grands producteurs de carbone (bleu pâle). b) Pourcentage des émissions mondiales de CO₂ pour la période 1751–2017 produites par les grands producteurs de carbone (orange) par rapport aux émissions non attribuées (bleu pâle). Source : Adapté de Climate Accountability Institute, 2019.

Aux États-Unis, en particulier, un nombre important de poursuites ont été intentées en 2017 et en 2018 par de grandes villes, des comtés, un État (Rhode Island) et la plus grande association de pêcheurs de la côte Ouest contre une longue liste de compagnies pétrolières, gazières et charbonnières (dont la compagnie canadienne Suncor Inc.). En 2020, dans la période allant jusqu'au 30 septembre, les États du Minnesota, du Delaware et du Connecticut, le comté de Maui, et les villes d'Honolulu, Washington, D.C., Hoboken (NJ), et Charleston (SC), ont tous intenté des poursuites similaires. Dans ces poursuites, les demandeurs réclament des dommages-intérêts pour financer l'adaptation et la réparation (c.-à-d. un investissement massif dans les infrastructures) afin de faire face aux dommages présents et futurs causés par les changements climatiques. Les demandeurs ont déposé divers types de plaintes en vertu des lois américaines, notamment des plaintes pour nuisance (publique et privée) et pour négligence, qui sont similaires aux lois canadiennes. Dans les plaintes pour nuisance, les changements climatiques seraient la nuisance et les émissions de GES, l'élément contribuant à la nuisance. Ces poursuites américaines font l'objet d'une défense vigoureuse. La plupart d'entre elles soulèvent des questions complexes de compétence et de procédure au niveau fédéral et au niveau des États. Les demandeurs sont confrontés à des problèmes juridiques importants, notamment les suivants : la doctrine américaine des questions politiques (qui dit essentiellement que les questions politiques ne sont pas justiciables), la preuve de la causalité (c.-à-d. le lien entre le comportement des défendeurs et le préjudice présumé subi par les demandeurs) et la qualité pour agir.

En décembre 2019, la Commission des droits de la personne des Philippines a annoncé l'achèvement de son enquête de trois ans, très médiatisée, visant à déterminer si 47 des plus grandes entreprises de combustibles fossiles du monde, toutes des « Carbon Majors », pouvaient être tenues responsables de la violation des droits de leurs citoyens en raison des dommages causés par les changements climatiques. La Commission a conclu que ces entreprises jouaient un rôle évident dans les changements climatiques anthropiques et pouvaient être tenues pour légalement responsables de leurs impacts dans certaines circonstances en vertu du droit civil des Philippines (Greenpeace Southeast Asia and Others, 2015).

Au 30 septembre 2020, il n'y avait aucune poursuite canadienne invoquant la responsabilité des entreprises en matière de changements climatiques. Plusieurs municipalités de la Colombie-Britannique avaient annoncé en 2019 qu'elles envisageaient d'intenter une action collective contre des entreprises de combustibles fossiles (Poggio, 2019), mais elles n'y ont pas donné suite. La ville de Toronto a indiqué en 2019 qu'elle étudiait des stratégies de litiges. Si une cause de responsabilité des entreprises est portée en justice au Canada, l'analyse de la Commission des droits de la personne des Philippines pourrait intéresser le tribunal. De même, si une cause américaine est gagnée sur la base de principes juridiques similaires à ceux du Canada, les tribunaux canadiens pourraient être influencés par ce raisonnement et cette analyse.

8.8 Aller de l'avant

8.8.1 Lacunes dans les connaissances

Les divulgations, les litiges et les aspects financiers liés aux changements climatiques sont des questions importantes dans les discussions canadiennes sur les changements climatiques. En date de septembre 2020, un grand nombre d'entreprises canadiennes et certaines municipalités font des divulgations relatives aux changements climatiques, mais la quantité et la qualité ne répondent peut-être pas aux besoins des intervenants. Le manque de divulgation sur les répercussions financières des changements climatiques sur les entreprises et sur la capacité de résilience de leurs stratégies face aux risques liés aux changements climatiques constitue une lacune importante pour les investisseurs des entreprises publiques. Actuellement, la divulgation des risques importants est obligatoire pour ces entreprises, mais il n'y a pas d'exigences normatives obligatoires pour la divulgation des risques et des occasions liés aux changements climatiques. La recherche pourrait se concentrer sur la question de savoir si la pression exercée par les investisseurs peut suffire à elle seule à encourager une plus grande divulgation de ces risques et occasions.

Il existe un certain nombre de lacunes liées au financement de la résilience aux changements climatiques et de la transition vers une économie à faibles émissions de carbone. Le rapport du Groupe d'experts sur la finance durable (2019) souligne un certain nombre de ces lacunes. Il existe des données préliminaires qui montrent que certains types de financement écologique sont efficaces pour encourager les investissements dans des projets écologiques et des taxonomies vertes, et des services fournissant des renseignements sont en cours d'élaboration pour soutenir ces investissements. Toutefois, on ne sait pas encore quelle combinaison d'instruments financiers et de soutiens institutionnels sera nécessaire pour accroître sensiblement les investissements dans les projets de résilience aux changements climatiques et de faibles émissions de carbone. En ce qui concerne plus particulièrement les investissements dans la résilience aux changements climatiques, les données montrent que ces projets sont souvent rentables, mais on ne sait pas très bien quelles mesures sont nécessaires pour encourager les propriétaires de maisons, d'entreprises et d'infrastructures essentielles à les entreprendre.

Les litiges relatifs aux changements climatiques sont de plus en plus fréquents au Canada. De nombreuses questions importantes n'ont pas encore été tranchées. Il est important que les décideurs canadiens demeurent conscients de la possibilité de nouveaux litiges sur les questions climatiques, car pratiquement toute question juridique liée aux changements climatiques est susceptible de faire l'objet d'un litige.

8.9 Conclusion

Les changements climatiques et l'impact des phénomènes climatiques extrêmes sont des questions importantes pour de nombreux décideurs des secteurs public et privé. Le débat public s'articule autour de la nécessité de réduire les émissions de GES et de la nécessité de s'adapter pour réduire au minimum les conséquences négatives des changements climatiques. Dans le secteur privé, la conversation s'articule généralement autour de la gestion des risques matériels et des risques liés aux changements climatiques. Cette approche présente les changements climatiques comme une préoccupation pertinente et urgente pour un large éventail d'intervenants et peut encourager les entités privées et publiques à prendre des mesures supplémentaires pour s'adapter aux changements climatiques.

Les recommandations du GTDFC sont devenues le cadre essentiel de la divulgation des risques liés aux changements climatiques. Elles sont de plus en plus adoptées par les entreprises canadiennes des secteurs financier et non financier, ainsi que par les gouvernements, et les recommandations sont largement approuvées par les intervenants. Au fil du temps, les investisseurs et les organismes de réglementation devraient exercer une pression croissante sur les entreprises et les gouvernements du Canada pour qu'ils divulguent les risques matériels et de transition liés aux changements climatiques, et qu'ils mettent en œuvre d'autres éléments des recommandations du GTDFC, un processus qui permettra de fournir davantage de renseignements aux marchés et à la société sur les mesures d'adaptation particulières qu'ils peuvent prendre.

La conversation canadienne et internationale sur les aspects financiers des changements climatiques s'est considérablement intensifiée. Les compagnies d'assurance et les gouvernements financent la plupart des coûts de rétablissement et de réparation des dommages matériels suite à des phénomènes extrêmes. Ces coûts ont augmenté et devraient continuer à augmenter. Les investisseurs publics et privés doivent également fournir des fonds importants pour soutenir la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone. Ainsi, les risques et les occasions liés aux changements climatiques sont particulièrement pertinents pour les institutions financières. Les fonds de pension, les banques, les gouvernements et d'autres investisseurs développent leur compréhension et leur gestion des risques et occasions que présentent les investissements dans des initiatives liées aux changements climatiques et touchées par ceux-ci. De plus, plusieurs obstacles aux investissements à grande échelle en faveur d'une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone doivent être levés, notamment les risques politiques, stratégiques et réglementaires, l'absence d'une taxonomie verte et le manque de données accessibles utiles à la prise de décision.

Des investisseurs privés élaborent des modèles et d'autres outils pour évaluer et gérer les risques et occasions liés aux changements climatiques, ce qui comprend les risques matériels et de transition. L'objectif est de mieux gérer les risques liés aux changements climatiques en tant qu'enjeu commercial. Ces outils peuvent être appliqués à n'importe quelle industrie, mais plusieurs efforts portent actuellement sur le soutien aux décideurs des institutions financières et des organismes de réglementation. Des outils et des pratiques propres aux industries sont également en cours d'élaboration pour les principaux émetteurs et utilisateurs d'énergie. L'accès aux données pertinentes et à de meilleurs renseignements sur les risques matériels propres aux organisations devrait encourager une plus grande action pour accroître la résilience aux extrêmes climatiques.

Investir dans la résilience aux changements climatiques peut être rentable et il existe des solutions pour les gouvernements, les entreprises et les personnes pour améliorer leur résilience aux risques matériels liés aux changements climatiques. Pour ce faire, il faut accroître les investissements et favoriser une coopération plus étroite afin d'améliorer les renseignements sur les risques et la sensibilisation à ceux-ci, la réduction et la prévention des risques, la reconstruction résiliente aux changements climatiques, l'alerte précoce et la préparation, et le financement des risques et les mesures de transfert des risques (y compris les assurances).

Au Canada, les actions en justice liées aux changements climatiques ont considérablement augmenté et sont principalement dirigées contre les gouvernements. Il existe plusieurs initiatives juridiques visant à forcer le gouvernement fédéral et les gouvernements provinciaux à agir en matière de changements climatiques sur la base de droits constitutionnels et de common law allégués. Les groupes d'intérêt et les gouvernements eux-mêmes intentent de plus en plus de procès contre les gouvernements à différents niveaux concernant les politiques et les décisions dans le contexte de la planification liée à la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone. Les litiges resteront un outil important pour provoquer des changements dans les politiques et les décisions. Par ailleurs, les actions en justice se multiplient contre les gouvernements en relation avec des défaillances d'infrastructures résultant de phénomènes météorologiques violents. En l'absence de couverture d'assurance ou de fonds de rétablissement après sinistre pour les personnes touchées, et lorsqu'il n'existe pas de dispositions légales d'immunité pertinentes, le nombre de ces recours peut augmenter à mesure que les phénomènes météorologiques violents se multiplient.

De plus en plus, des actions en justice sont également engagées contre des acteurs privés en rapport avec des phénomènes météorologiques extrêmes et des dommages aux infrastructures. À l'étranger, de nombreuses poursuites ont été intentées contre des organisations privées, alléguant un lien de causalité entre leurs émissions de GES et les dommages liés aux changements climatiques. De nombreuses affaires de ce type sont en cours aux États-Unis et une procédure internationale récente a conclu que 47 grands producteurs de carbone étaient responsables des conséquences de leurs émissions. Il est possible que des poursuites similaires soient intentées au Canada. Si l'on se fie aux tendances internationales, il est également possible que des actions en responsabilité civile soient intentées au Canada sur la base de questions de divulgation relative aux changements climatiques en vertu des lois provinciales sur les valeurs mobilières.

La divulgation, le développement du financement durable et les litiges relatifs aux changements climatiques peuvent encourager l'adaptation. La divulgation aide les entreprises et les gouvernements à mieux comprendre les risques et les occasions liés aux changements climatiques et à prendre des décisions d'affaires qui, en définitive, viendront soutenir la transition vers une économie résiliente aux changements climatiques et à faibles émissions de carbone. Les investisseurs peuvent utiliser ces renseignements pour récompenser les entreprises et les régions qui agissent pour réduire leurs risques et saisir les occasions. Les mesures d'adaptation peuvent être très rentables dans la prévention des pertes futures. Ces mesures de réduction des coûts nécessiteront des sources de financement tant privées que publiques. La possibilité d'une responsabilité juridique en cas d'absence d'évaluation et de divulgation des risques liés aux changements climatiques, d'absence d'adaptation ou de mauvaise gestion de l'adaptation est un sujet de préoccupation pour tous les ordres de gouvernement et pour les entreprises.

8.10 Références

- ACVM [Autorités canadiennes en valeurs mobilières] (2010). « CSA Staff Notice 51-333: Environment Reporting Guidance ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.osc.ca/sites/default/files/pdfs/irps/csa_20101027_51-333_environmental-reporting.pdf>
- ACVM [Autorités canadiennes en valeurs mobilières] (2018). « CSA Staff Notice 51-354: Report on Climate change-related Disclosure Project ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.osc.gov.on.ca/en/SecuritiesLaw_csa_20180405_51-354_disclosure-project.htm>
- ACVM [Autorités canadiennes en valeurs mobilières] (2019). « CSA Staff Notice 51-358: Reporting of Climate Change-related Risks ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.osc.gov.on.ca/documents/en/Securities-Category5/csa_20190801_51-358_reporting-of-climate-change-related-risks.pdf>
- Adler, D. (2018). « Turning the Tide in Coastal and Riverine Energy Infrastructure Adaptation: Can an Emerging Wave of Litigation Advance Preparation for Climate Change ». *Oil & Gas, Natural Resources, and Energy Journal*, 4(4), 519. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://digitalcommons.law.ou.edu/onej/vol4/iss4/2>>
- Adriano, L. (2019). « Study: Canadian flood mapping information is “inadequate, incomplete, hard to locate” ». *Insurance Business Canada*. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.insurancebusinessmag.com/ca/news/flood/study-canadian-flood-mapping-information-is-inadequate-incomplete-hard-to-locate-160498.aspx>>
- Ami(e)s de la Terre c. Canada (Gouverneur en conseil)*, 2008 FC 1183, 2008 CF 1183, 2008 CarswellNat 3763, 2008 CarswellNat 5075, [2008] F.C.J. No. 1464, [2009] 3 F.C.R. 201, 170 A.C.W.S. (3d) 438, 299 D.L.R. (4th) 583, 336 F.T.R. 117 (Eng.), 39 C.E.L.R. (3d) 191, 93 Admin. L.R. (4th) 18 (Court fédérale).
- Anderson c. Manitoba*, 2017 MBCA 14, 2017 CarswellMan 31, [2017] 4 W.W.R. 702, 275 A.C.W.S. (3d) 38, 35 C.C.L.T. (4th) 205, 408 D.L.R. (4th) 329, 98 C.P.C. (7th) 222 (Cour d’appel du Manitoba).
- Anderson, N. (2019). « IFRS Standards and climate-related disclosures ». *International Financial Reporting Standards*. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://cdn.ifrs.org/-/media/feature/news/2019/november/in-brief-climate-change-nick-anderson.pdf?la=en>>
- Australian Sustainable Finance Initiative (2019). « Developing an Australian Sustainable Finance Roadmap: Progress Report ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.sustainablefinance.org.au/s/ASFI-Progress-Report-Final.pdf>>
- BAC [Bureau d’assurance du Canada] (2015). « A Primer on Financial Risk from Natural Disasters: The Case for Public-Private Collaboration ». Consulté en juillet 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Resources/2015_PubPrivPart.pdf>
- BAC [Bureau d’assurance du Canada] (2019a). « Investing in Canada’s Future: The Cost of Climate Adaptation ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://assets.abc.ca/Documents/Disaster/The-Cost-of-Climate-Adaptation-Summary-EN.pdf>>
- BAC [Bureau d’assurance du Canada] (2019b). « Options for Managing Flood Costs of Canada’s Highest Risk Residential Properties: A Report of the National Working Group on Financial Risk of Flooding ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://assets.abc.ca/Documents/Studies/IBC-Flood-Options-Paper-EN.pdf>>
- BAC [Bureau d’assurance du Canada] (2020). L’industrie de l’assurance de dommages au Canada, tous les secteurs, section 1 dans *Assurances de dommages au Canada 2020*. Consulté en juillet 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2020/IBC-2020-Facts-FR.pdf>
- Banque de l’infrastructure du Canada (2020). Le premier ministre annonce un plan d’infrastructure pour créer des emplois et faire croître l’économie. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://cib-bic.ca/fr/la-banque-de-linfrastructure-du-canada-annonce-un-plan-de-croissance-pour-creer-des-emplois-et-faire-croitre-leconomie/>>
- Banque de l’infrastructure du Canada (s.d.). À propos de la BIC. Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://cib-bic.ca/fr/a-propos/>>
- Banque de Montréal (2019a). « Sustainable Financing Framework ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.bmo.com/ir/files/F19%20Files/BMOSustainableFinancingFramework.pdf>>
- Banque de Montréal (2019b). « BMO Issues Inaugural Sustainability Bond ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://newsroom.bmo.com/2019-10-21-BMO-Issues-Inaugural-Sustainability-Bond>>
- Banque Nationale du Canada (2018). Cadre de référence des obligations durables. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.bnc.ca/content/dam/bnc/a-propos-de-nous/rerelations-investisseurs/fonds-propres-et-dette/nbc-cadre-de-reference-obligations-durables.pdf>>
- Banque Nationale du Canada (2019). La Banque Nationale du Canada annonce la première émission d’obligations durables en dollars US par une banque nord-américaine à l’international. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.bnc.ca/fr/a-propos-de-nous/nouvelles/salle-de-presse/communiqués-de-presse/2019/20191002-Banque-Nationale-annonce-premiere-emission-obligations-durables-dollars-US-par-une-banque-nord-americaine-a-international.html>>

Barnes c. Edison International, 2018, 2:18-cv-09690 (District central de Californie).

Bednar, D., Henstra, D. et McBean, G. (2019). « The governance of climate change adaptation: are networks to blame for the implementation deficit? » *Journal of Environmental Policy & Planning*, 21(6), 702–717. Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1670050>>

Bednar, D., Raikes, J. et McBean, G. (2018). « The governance of climate change adaptation in Canada ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Toronto. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.iclr.org/images/CCA_Climate_change_report_2018.pdf>

Bennett, V. (2019). « World's first dedicated climate resilience bond, for US\$ 700m, is issued by EBRD ». Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.ebrd.com/news/2019/worlds-first-dedicated-climate-resilience-bond-for-us-700m-is-issued-by-ebrd.html>>

Bishop c. Regional Municipality of Durham, 2007, CarswellOnt 10163 (Cour supérieure de justice de l'Ontario).

Blewett, T. (2019). « 'People will lose a lot:' Gatineau fighting floods alongside other Quebec communities ». Ottawa Citizen. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://ottawacitizen.com/news/local-news/people-will-lose-a-lot-gatineau-fighting-floods-alongside-other-quebec-communities/>>

Buberl, T. (2017). « Unsustainable business is un-investable and uninsurable business ». One Planet Summit – Discours du PDG d'Axa. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.axa-com.cdn.axa-contento-118412.eu/www-axa-com%2Ff5520897-b5a6-40f3-90bd-d5b1bf7f271b.climatesummit_ceospeech_va.pdf>

Buchner, B., Clark, A., Falconer, A., Macquarie, R., Meattle, C., Tolentino, R. et Wetherbee, C. (2019). « Global Landscape of Climate Finance 2019 ». Climate Policy Initiative, London. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2019/>>

Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (2019). Suivi régulier sur l'état des infrastructures publiques du Canada: Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes 2019. Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://canadianinfrastructure.ca/downloads/bulletin-rendement-infrastructures-canadiennes-2019.pdf>>

Bureau du surintendant des institutions financières (2013). Saines pratiques de gestion de l'exposition au risque de tremblement de terre. Gouvernement du Canada. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.osfi-bsif.gc.ca/fra/fi-if/rgr-ro/gdn-ort/gl-ld/Pages/b9.aspx>>

Burger, M., Wentz, J. et Horton, R. (2020). « The Law and Science of Climate Change Attribution ». *Columbia Journal of Environmental Law*, 45(1). Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.7916/cjel.v45i1.4730>>

Burns Bog Conservation Society c. Canada, 2012 CarswellNat 3188, 2012 CarswellNat 4657, 2012 FC 1024, 2012 CF 1024, [2012] F.C.J. No. 1110, 221 A.C.W.S. (3d) 356, 417 F.T.R. 98 (Eng.), 71 C.E.L.R. (3d) 118 (Cour fédérale).

Bush, E. et Lemmen, D. (Eds.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>

CAC [Conseil des académies canadiennes] (2019). Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada. Le comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation, Conseil des académies canadiennes, Ottawa. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.rapports-cac.ca/reports/accorder-la-priorite-aux-plus-importants-risques-poses-par-les-changements-climatiques/>>

Cambridge Institute for Sustainability Leadership (2019a). « Physical risk framework: Understanding the impacts of climate change on real estate lending and investment portfolios ». Climate Wise. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cisl.cam.ac.uk/resources/publication-pdfs/cisl-climate-wise-physical-risk-framework-report.pdf>>

Cambridge Institute for Sustainability Leadership (2019b). « Transition risk framework: Managing the impacts of the low carbon transition on infrastructure investments ». ClimateWise. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cisl.cam.ac.uk/resources/publication-pdfs/cisl-climate-wise-transition-risk-framework-report.pdf>>

Carney, M. (2019). « A New Horizon ». Bank of England. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.bankofengland.co.uk/speech/2019/mark-carney-speech-at-european-commission-high-level-conference-brussels>>

CatiQ (s.d.). Consulté en septembre 2020 sur le site <www.catiq.com>

CBC News (2019). « High River wants to buy flood homes back from the province ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/high-river-homes-flood-mitigation-buy-back-1.4972863>>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2015). L'Accord de Paris. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf>

CDP (2020). « What we do ». Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://www.cdp.net/en/info/about-us/what-we-do>>

CIAC [Centre intact d'adaptation aux changements climatiques] (s.d.). Formation pour la protection contre les inondations. Consulté en avril 2020 sur le site <<https://www.centreintactadaptationclimat.ca/programmes/le-programme-de-protection/formation-pour-la-protection-contre-les-inondations/>>

Circé, M., Da Silva, L., Boyer-Villemaire, U., Duff, G., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016). Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec – Rapport synthèse. Ouranos, Montréal. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Synthese_Qc.pdf>

Climate Accountability Institute (2019). « Carbon Majors: Update of top twenty companies 1965–2017 ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climateaccountability.org/pdf/CAI%20PressRelease%20A%20Dec19c.pdf>>

Climate Action 100+ (2019). « 2019 Progress Report ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://climateaction100.files.wordpress.com/2019/10/progressreport2019.pdf>>

Climate Bonds Initiative (2019). « Green bonds: The state of the market 2018 ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.climatebonds.net/resources/reports/green-bonds-state-market-2018>>

Climate Bonds Initiative (2020). « Explaining Green Bonds ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.climatebonds.net/market/explaining-green-bonds>>

Commission mondiale sur l'adaptation (2019). « Adapt Now: a Global Call for Leadership on Climate Resilience ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf>

Conseil canadien des normes (2019). Finance durable - Définir la taxonomie verte pour le Canada. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.scc.ca/fr/normes/avis-d'intention/csa/finance-durable-definir-la-taxonomie-verte-pour-le-canada>>

Conseil canadien pour les partenariats public-privé (s.d.). SP3CTRUM. Consulté en septembre 2020 sur le site <<http://www.p3spectrum.ca/>>

Cooper c. Hobart, 2001 CarswellBC 2502, 2001 CarswellBC 2503, 2001 SCC 79, 2001 CSC 79, [2001] 3 S.C.R. 537, [2001] B.C.W.L.D. 1084, [2001] S.C.J. No. 76, [2001] B.C.T.C. 215, [2002] 1 W.W.R. 221, 110 A.C.W.S. (3d) 943, 160 B.C.A.C. 268, 206 D.L.R. (4th) (La Cour suprême du Canada).

Corporate Knights et le Council for Clean Capitalism (2018). « Clean Financing for Heavy Industry ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.corporateknights.com/wp-content/uploads/2018/11/Clean-Transition-Project-Categories-Draft.pdf>>

Corporation de financement d'urgence d'entreprises du Canada (2020). Feuillet d'information – crédit d'urgence pour les grands employeurs. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cdev.gc.ca/fr/information/>>

CPA Canada [Comptables professionnels agréés Canada] (2019a). « Progressive Investors and Corporate Disclosure – The Unstoppable Transition to a Resilient, Low Carbon Economy ». Toronto.

CPA Canada [Comptables professionnels agréés Canada] (2019b). Table ronde sur l'information relative aux changements climatiques dans le secteur minier. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/information-financiere-et-non-financiere/durabilite-environnement-et-responsabilite-sociale/publications/information-changements-climatiques-secteur-minier>>

CPA Canada [Comptables professionnels agréés Canada] (2019c). Table ronde sur l'information relative aux changements climatiques dans le secteur de l'énergie. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/information-financiere-et-non-financiere/durabilite-environnement-et-responsabilite-sociale/publications/info-changements-climatiques-secteur-energie>>

CPA Canada [Comptables professionnels agréés Canada] (2019d). « Guide sur l'adoption des recommandations du Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (GIFCC) pour les villes ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/information-financiere-et-non-financiere/durabilite-environnement-et-responsabilite-sociale/publications/guide-gifcc-pour-villes>>

CPA Canada [Comptables professionnels agréés Canada] (2020). Étude de 2019 sur les informations relatives aux changements climatiques des sociétés canadiennes : Rapport sommaire. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/information-financiere-et-non-financiere/rapport-de-gestion-et-autres-rapports-financiers/publications/etude-2019-changements-climatiques-rapport-sommaire>>

Czajkowski, J., Simmons, K.M. et Done, J.M. (2017). « Demonstrating the Intensive Benefit to the Local Implementation of a Statewide Building Code ». *Risk Management and Insurance Review*, 20(3), 363–390. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/rmir.12086>>

Ekwurzel, B., Boneham, J., Dalton, M.W., Heede, R., Mera, R.J., Allen, M.R. et Frumhoff, P.C. (2017). « The rise in global atmospheric CO₂, surface temperature, and sea level from emissions traced to major carbon producers ». *Climate Change*, 144(4), 579–590. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-1978-0>>

Environnement Jeunesse c. Procureur général du Canada, 2019 CarswellQue 6311, 2019 QCCS 2885, 29 C.E.L.R. (4th) 313, 308 A.C.W.S. (3d) 775, EYB 2019-313892 (Cour supérieure du Québec). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/environnement-jeunesse-v-canadian-government/>>

EU High-Level Expert Group on Sustainable Finance (2018). « Final report 2018 by the High-Level Expert Group on Sustainable Finance ». Commission européenne. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://ec.europa.eu/info/publications/180131-sustainable-finance-report_en>

EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (2020). « Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance ». Commission européenne. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/sustainable-finance-teg-final-report-eu-taxonomy_en>

Evans, C. et Feltmate, B. (2019). Protégez les maisons contre la menace croissante d'inondations au Canada. University of Waterloo, Centre intact d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads//2019/06/Ontario_HFPP_Report_French_V4-compressed-min-2.pdf>

Feltmate, B., Moudrak, N., Bakos, K. et Schofield, B. (2020). Prendre en compte les risques climatiques dans l'évaluation financière. University of Waterloo, Centre intact d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads//2020/05/UoW-ICCA-GRI-Scotia-Report-French-v4.pdf>>

Flavelle, C. (2019). « Moody's Buys Climate Data Firm, Signaling New Scrutiny of Climate Risks ». The New York Times. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.nytimes.com/2019/07/24/climate/moodys-ratings-climate-change-data.html>>

Fondation Sierra Club Canada c. Canada (Environnement et Changement climatique), 2020 CarswellNat 2170, 2020 CarswellNat 2171, 2020 FC 663, 2020 CF 663, 320 A.C.W.S. (3d) 58 (Court Fédérale).

Fondation Urgenda c. the State of the Netherlands État des Pays-Bas, 2019, 19/00135 (Supreme Court of the Netherlands), aff'g (2018), 200.178.245/0 (Hague Court of Appeal), aff'g (2015), C/09/456689 / HA ZA 13-1396 (Hague District Court). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/urgenda-foundation-v-kingdom-of-the-netherlands>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019). « Global Warming of 1.5°C ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf>

Goldstein, A., Turner, W., Gladstone, J. et Hole, D. (2019). « The private sector's climate change risk and adaptation blind spots ». *Nature Climate Change*, 9, 18–25.

Golnaraghi, M. (2019a). « Opinion: From "fragmented" trends to new "integrated" business models ». LinkedIn. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.linkedin.com/pulse/opinion-from-fragmented-trends-new-integrated-models-maryam/>>

Golnaraghi, M. (2019b). « Advancements in Modelling and Integration of Physical and Transition Climate Risk Core insurance business, asset management and investment applications: Background Paper prepared for the Geneva Association 2019 Climate Change Forum ». The Geneva Association, Zurich. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.genevaassociation.org/sites/default/files/background_paper_for_2019_eecr_forum_final_08.07.2019.pdf>

Golnaraghi, M. (Ed.) (2012). « Institutional Partnerships in Multi-Hazard Early Warning Systems: A Compilation of Seven National Good Practices and Guiding Principles ». Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Gouvernement du Canada (2016). Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/cadre-pancanadien/plan-changement-climatique.html>>

Gouvernement du Canada (2020). Données et scénarios climatiques canadiens. Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=main>>

Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment (2020). « Climate Change Laws of the World ». London School of Economics. Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://climate-laws.org/>>

Green Finance Taskforce (2018). « Accelerating Green Finance ». Gouvernement du Royaume-Uni. Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://www.gov.uk/government/publications/accelerating-green-finance-green-finance-taskforce-report>>

Greenpeace Canada c. ministre de l'Environnement, de la Conservation et des Parcs, 2019 ONSC 5629, 2019 CarswellOnt 16447, 148 O.R. (3d) 191, 28 C.E.L.R. (4th) 132, 310 A.C.W.S. (3d) 533, 439 D.L.R. (4th) 345 (Ontario Superior Court of Justice).

Greenpeace Southeast Asia and Others (2015). « Case No.: CHR-NI-2016-0001, Philippines Commission on Human Rights ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/in-re-greenpeace-southeast-asia/>>

Groupe CSA (2020). Définition du financement de la transition au Canada. Consulté en mars 2020 sur le site <<https://www.csagroup.org/fr/news/definition-du-financement-de-la-transition-au-canada/>>

Groupe d'experts sur la finance durable (2018). Rapport provisoire du Groupe d'experts sur la finance durable. Environnement et changement climatique Canada, Gatineau. Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://publications.gc.ca/site/fra/9.863539/publication.html>>

Groupe d'experts sur la finance durable (2019). Rapport final du Groupe d'experts sur la finance durable – Mobiliser la finance pour une croissance durable. Environnement et changement climatique Canada, Gatineau. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/groupe-experts-financement-durable.html>>

GTDFC [Groupe de travail sur les divulgations financières liées aux changements climatiques] (2017). « Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.fsb-tcfd.org/publications/final-recommendations-report/>>

GTDFC [Groupe de travail sur les divulgations financières liées aux changements climatiques] (2019). « TCFD: 2019 Status Report (June 2019) ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.fsb-tcfd.org/publications/tcfd-2019-status-report/>>

Grzadzowska, A. (2019). « Commercial properties being submerged by rising flood risk ». Insurance Business Canada. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.insurancebusinessmag.com/ca/news/catastrophe/commercial-properties-being-submerged-by-rising-flood-risk-192065.aspx>>

Gundlach, J. et Klein, J. (2018). « The Built Environment », Chapitre 6 dans *Climate Change, Public Health and the Law*, (Eds.) M. Burger, et J. Gundlach. Cambridge University Press, New York, 147–168. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://papers.ssrn.com/so13/papers.cfm?abstract_id=3086217>

Harford, D. et Raftis, C. (2019). « Low Carbon Resilience: Best Practices for Professionals ». Simon Fraser University, Adaptation to Climate Change Team. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.weadapt.org/system/files/force/lcr_best_practices_final.pdf>

Heede, R. (2014). « Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010 ». *Climatic Change*, 122(1–2), 229–241. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0986-y>>

Henstra, D. et Thistlethwaite, J. (2017). « Flood Risk Management: What Is the Role Ahead for the Government of Canada? » CIGI Policy Brief No. 103. Centre for International Governance Innovation, Waterloo, Ontario. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.cigionline.org/sites/default/files/documents/Policy%20Brief%20No.103_0.pdf>

Hogg, P. (2020). « Constitutional Law of Canada ». Thomson Carswell, Toronto. Consulté en septembre 2020 (feuillet mobiles).

Infrastructure Canada (2018). Le gouvernement du Canada lance un nouveau fonds pour contribuer à atténuer les répercussions des changements climatiques et pour mieux protéger les Canadiens contre les catastrophes naturelles. Gouvernement du Canada. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/bureau-infrastructure/nouvelles/2018/05/le-gouvernement-du-canada-lance-un-nouveau-fonds-pour-contribuer-a-attenuer-les-repercussions-des-changements-climatiques-et-pour-mieux-protger-le.html>>

Infrastructure Canada (2019). Optique des changements climatiques - Lignes directrices générales. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>>

Initiative de financière du PNUE (2019). « Changing Course: A comprehensive investor guide to scenario-based methods for climate risk assessment, in response to the TCFD ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2019/05/TCFD-Changing-Course-Oct-19.pdf>>

Institut canadien pour des choix climatiques (2020). « Charting Our Course: Bringing clarity to Canada's climate policy choices on the journey to 2050 ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://climatechoices.ca/wp-content/uploads/2020/01/FINAL_Charting-Our-Course.pdf>

Institut d'assurance du Canada (2020). Les risques climatiques : Conséquences pour l'industrie de l'assurance au Canada. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.insuranceinstitute.ca/fr/resources/insights-research/Climate-risks-report>>

Institut de prévention des sinistres catastrophiques (2016). Les villes s'adaptent à la chaleur accablante : Célébrer le leadership local. (Eds.) S. Guilbault, P. Kovacs, P. Berry et G.R. Richardson. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2018/04/Cities-Adapt-to-Extreme-Heat_FR_PDF.pdf>

Kovacs, P., Guilbault, S. et Sandink, D. (2014). Les villes s'adaptent aux précipitation extrêmes : Célébrer le leadership local. Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Toronto. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2018/11/Cities-Adapt-to-Extreme-Rain-FR-Final-web.pdf>>

Kovacs, P., Guilbault, S., Darwish, L. et Comella, M. (2018). Les villes s'adaptent aux phénomènes météorologiques extrêmes : Célébrer le leadership local. Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Toronto. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2020/09/Cities-Adapt-EW_French_Revised_Complete.pdf>

KPMG (2015). « Demystifying the Public Private Partnership Paradigm: The Nexus between Insurance, Sustainability and Growth ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://home.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2015/06/public-private-partnerships.pdf>>

Kunreuther, H. (2015). « The Role of Insurance in Reducing Losses from Extreme Events: The Need for Public-Private Partnerships ». *The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice*, 40(4), 741–762.

La Rose et al. c. Sa Majesté la Reine, 2020 FC 1008 (Court Fédérale). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/la-rose-v-her-majesty-the-queen/>>

LAMPS (2020). « Ontario Climate Data Portal. York University ». Consulté en septembre 2020 sur le site <<http://lamps.math.yorku.ca/OntarioClimate/>>

Lau, R. (2019). « 2019 floods: Quebec wants to standardize flood regulations for towns in the Laurentians ». CTV News. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://montreal.ctvnews.ca/2019-floods-quebec-wants-to-standardize-flood-regulations-for-towns-in-the-laurentians-1.4690871>>

Laukkonen, J., Kim-Blanco, P., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B. et Njenga, C. (2009). « Combining Climate Change Adaptation and Mitigation Measures ». *Habitat International*, 33(3), 287–292. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.003>>

Leghari c. Fédération du ederation of Pakistan, W.P. No. 25501/2015 (Lahore High Court). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/ashgar-leghari-v-federation-of-pakistan/>>

Lho'imggin et al. c. Sa Majesté la Reine, 2020 (Court ffédérale). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/gagnon-et-al-v-her-majesty-the-queen/>>

Linden, A. et Feldhusen, B. (2007). « Halsbury's Laws of Canada: Negligence ». LexisNexis, Markham.

Lliuya c. RWE AG, 2015, 2 O 285/15 (District Court Essen). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/lliuya-v-RWE/>>

Local Government Act, RSBC 2015 c.1 (2015).

Mahony, D. (Ed.) (2020). « The Law of Climate Change in Canada ». Thomson Reuters, Toronto. Consulté en septembre 2020 (feuillet mobile).

Marjanac, S. et Patton, L. (2018). « Extreme weather event attribution science and climate change litigation: an essential step in the causal chain? » *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 36(3), 265–298. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/02646811.2018.1451020>>

Mathur et al. c. Sa Majesté la Reine du chef de l'Ontario, 2019, CV-19-00631627 (Cour supérieure de justice). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/non-us-case/mathur-et-al-v-her-majesty-the-queen-in-right-of-ontario/>>

Ministère des Finances du Canada (2019). Document d'information : Transition vers une économie propre. Gouvernement du Canada. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/nouvelles/2019/06/document-dinformation--transition-vers-une-economie-propre.html>>

Ministère des Finances du Québec (s.d.). Cadre de référence pour les obligations vertes du Québec. Consulté en avril 2020 sur le site <http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/AUTFR_Cadre-reference-Obligations-Vertes.pdf>

Moran, D. et Mihaly, E. (2018). « Climate Adaptation and Liability: A Legal Primer and Workshop Summary Report ». Conservation Law Foundation. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.clf.org/wp-content/uploads/2018/01/GRC_CLF_Report_R8.pdf>

Moudrak, N. et Feltmate, B. (2017). Prévenir les catastrophes avant qu'elles ne surviennent : élaborer une norme canadienne pour rendre les nouvelles zones résidentielles résilientes face aux inondations. University of Waterloo, Centre intact d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2017/11/Preventing-Disaster-Before-It-Strikes_FR_Final-2017.pdf>

Moudrak, N. et Feltmate, B. (2019a). Surmonter la tempête : élaborer une norme canadienne pour rendre les zones résidentielles existantes résilientes face aux inondations. University of Waterloo, Centre intact d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/01/Surmonter-La-Tempête.pdf>>

Moudrak, N. et Feltmate, B. (2019b). Avant la tempête : élaboration de lignes directrices sur la résilience aux inondations pour le secteur immobilier commercial au Canada. University of Waterloo, Centre intact d'adaptation aux changements climatiques. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/10/Faire-face-aux-inondations-1.pdf>>

Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H. et Osman, H. (2018). Lutter contre la hausse des coûts des inondations au Canada : l'infrastructure naturelle est une option sous-utilisée. University of Waterloo, Centre intact d'adaptation aux changements climatiques, Waterloo, Ontario. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/01/IBC_Wetlands-Report-2018_FR.pdf>

Multihazard Mitigation Council et le Council on Finance, Insurance and Real Estate (2015). « Developing Pre-Disaster Resilience Based on Public and Private Incentivization ». National Institute of Building Sciences. Consulté en juillet 2020 sur le site <http://c.yimcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/MMC/MMC_ResilienceIncentivesWP.pdf>

Municipalités (Loi de 2001 sur les), L.O. 2001, chap. 25.

Organisation des Nations Unies (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>>

Objectifs de développement durable (2015). « Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>>

Pacific Climate Impacts Consortium (2020). « Plan2Adapt ». University of Victoria. Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/adaptation/impacts>>

People of the State of New York c. Exxon Mobil Corporation, 65 Misc. 3d 1233(A), 2019 N.Y. Misc. LEXIS 6544, 2019 NY Slip Op 51990(U), 49 ELR 20199, 2019 WL 6795771 (Supreme Court of the State of New York).

Poggio, M. (2019). « Next Climate Liability Suits Vs. Big Oil Could Come from Western Canada ». Climate Liability News. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.climateliabilitynews.org/2019/01/22/climate-liability-western-canada-vancouver-victoria/>>

Porter, K. et Scawthorn, C. (2020). « Estimating the benefits of Climate Resilient Buildings and Core Public Infrastructure (CRBCPI) ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Toronto. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2020/03/SPA-Climate-resiliency-book.pdf>>

Porter, K., Scawthorn, C., Huyck, C., Eguchi, R., Hu, Z., Reeder, A. et Schneider, P. (2018). « Natural Hazard Mitigation Saves: 2018 Interim Report ». National Institute of Building Sciences, Washington, D.C. Consulté en juillet 2020 sur le site <www.nibs.org>

Province de l'Ontario (s.d.). Cadre des obligations vertes de l'Ontario. Consulté en avril 2020 sur le site <https://www.ofina.on.ca/pdf/green_bond_framework_fr.pdf>

Rabson, M. (2020). « Supreme Court reserves judgment in Canada's carbon tax cases ». The Canadian Press. Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://globalnews.ca/news/7353756/supreme-court-canada-carbon-tax/>>

Ralph, O. (2018). « Global catastrophe bond market size climbs to a record \$30bn ». Financial Times. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.ft.com/content/d62827b2-b1e0-11e8-99ca-68cf89602132>>

Reference reRenvoi relatif à la *Greenhouse Gas Pollution Pricing Act*, 2019 ABCA 283, 2019 CarswellAlta 1454, [2019] A.W.L.D. 3342, [2019] A.W.L.D. 3442, 2019 D.T.C. 5101, 307 A.C.W.S. (3d) 520 (Alberta Court of Appeal).

Reference reRenvoi relatif à la *Greenhouse Gas Pollution Pricing Act*, 2019 ONCA 544, 2019 CarswellOnt 10495, 2019 D.T.C. 5090, 146 O.R. (3d) 65, 29 C.E.L.R. (4th) 113, 306 A.C.W.S. (3d) 514, 436 D.L.R. (4th) 1 (Ontario Court of Appeal).

Reference reRenvoi relatif à la *Greenhouse Gas Pollution Pricing Act*, 2019 SKCA 40, 2019 CarswellSask 204, [2019] 9 W.W.R. 377, 2019 D.T.C. 5055, 304 A.C.W.S. (3d) 531, 435 C.R.R. (2d) 1, 440 D.L.R. (4th) 398 (Saskatchewan Court of Appeal).

Réseau canadien de l'eau et Bureau d'assurance du Canada (2019). « Improving Flood Risk Evaluation through Cross-Sector Sharing of Richer Data ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://cwn-rce.ca/wp-content/uploads/CWN-IBC-Improving-Flood-Risk-Evaluation.pdf>>

Réseau pour l'écologisation du système financier (2020). « Annual Report 2019 ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_annual_report_2019.pdf>

Responsabilité de la Couronne et les instances l'intéressant (Loi de 2019 sur la), L.O. 2019, chap. 7, annexe 17.

Richard Lauzon c. Municipalité Régionale du Comté (MRC) de Deux-Montagnes, Ville de Sainte-Marthe-sur-le-Llac, Procureur Général du Québec, 2019 QCCS 4650, EYB 2019-326677 (C.S. Qué.).

Riordan, R. (2020). « Transition Bonds ». Institute for Sustainable Finance. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://smith.queensu.ca/centres/isf/resources/primer-series/transition-bonds.php>>

Sabin Center for Climate Change Law (s.d.). « Climate Change Litigation Databases ». Columbia University, Columbia Law School and Columbia University Earth Institute. Consulté en septembre 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/>>

Sarra, J. et Williams, C. (2018). « Directors' Liability and Climate Risk: Canada - Country Paper ». Smith School of Enterprise and the Environment, Commonwealth Climate and Law Initiative. University of Oxford, Oxford. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://ccli.ouce.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2018/04/CCLI-Canada-Paper-Final.pdf>>

Secrétariat des conférences intergouvernementales canadiennes (2018). COMMUNIQUÉ – Rencontre des ministres fédéral, provinciaux et territoriaux sécurité civile. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://scics.ca/fr/product-produit/communiquereencontre-des-ministres-federal-provinciaux-et-territoriaux-securite-civile/>>

Setzer, J. et Vanhala, L. (2019). « Climate change litigation: A review of research on courts and litigants in climate governance ». *WIREs Climate Change*, 10(3). Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.580>>

Shrubsole, D., Brooks, G., Halliday, R., Emdad, H., Kumar, A., Lacroix, J. et Simonovic, S.P. (2003). « An Assessment of Flood Risk Management in Canada ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Toronto. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/an-assessment-of-flood-risk-management-in-canada.pdf>>

Sun Life (2019a). « Sustainability Bond Framework ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://cdn.sunlife.com/static/Global/Investors/Investor%20briefcase/Sun%20Life%20Sustainability%20Bond%20Framework_March%202019.pdf>

Sun Life (2019b). « Sun Life announces inaugural Sustainability Bond Offering ». Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.sunlife.com/Global/Investors/Financial+news/Announcement/Sun+Life+announces+inaugural+Sustainability+Bond+Offering?vgnLocale=en_CA&id=123278>

Sustainability Accounting Standards Board (2018). Consulté en avril 2020 sur le site <<https://www.sasb.org/>>

Synchrude Canada Ltd. cv. Canada (Procureur général) Attorney General of Canada, 2016 FCA 160, 2016 CarswellNat 1870, 100 C.E.L.R. (3d) 179, 266 A.C.W.S. (3d) 624, 398 D.L.R. (4th) 91, 483 N.R. 252 (Federal Court of Appeal).

Takatsuki, Y. et Foll, J. (2019). « Financing brown to green: Guidelines for Transition Bonds ». AXA Investment Managers. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://realassets.axa-im.com/content/-/asset_publisher/x7LvZDsY05WX/content/financing-brown-to-green-guidelines-for-transition-bonds/23818>

The Atmospheric Fund (2020). « TAF Programs ». Consulté en septembre 2020 sur le site <<https://taf.ca/programs/>>

The Geneva Association (2018a). « Climate Change and the Insurance Industry: Taking Action as Risk Managers and Investors ». Zurich: The Geneva Association. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.genevaassociation.org/research-topics/extreme-events-and-climate-risk/climate-change-and-insurance-industry-taking-action>>

The Geneva Association (2018b). « Managing Physical Climate Risk: Leveraging Innovations in Catastrophe Risk Modelling ». Zurich: The Geneva Association. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.genevaassociation.org/research-topics/extreme-events-and-climate-risk/managing-physical-climate-risk%E2%80%9494leveraging>>

The Geneva Association (2019). « Investing in climate-resilient decarbonised infrastructure to meet socio-economic and climate change goals ». Zurich: The Geneva Association. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.genevaassociation.org/sites/default/files/research-topics-document-type/pdf_public/infrastructure_investment_gap_4-pager_091219.pdf>

The Geneva Association (2020). « Flood Resilience in a Changing Climate: A Holistic Multi-Stakeholder Forward-Looking Approach to Flood Risk Management ».

Tsleil-Waututh Nation c. procureur général du Canada, 2018 CAF 153, 2018 FCA 153, 2018 CarswellNat 4685, 2018 CarswellNat 4686, [2018] 3 C.N.L.R. 205, [2018] F.C.J. No. 876, 21 C.E.L.R. (4th) 1, 295 A.C.W.S. (3d) 775, 45 Admin. L.R. (6th) 1, EYB 2018-301376 (Cour d'appel fédérale).

Turp c. ministre de la Justice et procureur général du Canada, 2012 FC 893, 2012 CF 893, 2012 CarswellNat 2932, 2012 CarswellNat 2933, 2012 FC 893, 2012 CF 893, [2012] A.C.F. No. 944, [2012] F.C.J. No. 944, 219 A.C.W.S. (3d) 730, 415 F.T.R. 192 (Eng.), 72 C.E.L.R. (3d) 36 (Court Fédérale).

Vaijhala, S. et Rhodes, J. (2018). « Resilience Bonds: a business-model for resilient infrastructure ». Institut Veolia. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://www.institut.veolia.org/sites/g/files/dvc2551/files/document/2018/12/03-02_Resilience_Bonds_a_business-model_for_resilient_infrastructure.pdf>

Valeurs mobilières (Loi sur les), L.R.O. 1990, chap. S.5.

Ville d'Ottawa (s.d.). Relations avec les Investisseurs. Consulté en avril 2020 sur le site <<https://ottawa.ca/fr/entreprises/recherche-et-donnees/relations-avec-les-investisseurs>>

Ville de Vancouver (2018). « City of Vancouver - Green Bond Program ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://vancouver.ca/files/cov/2018-11-city-of-vancouver-investor-presentation-v-final.pdf>>

von Peter, G., von Dahlen, S. et Saxena, S.C. (2013). « Unmitigated Disasters? New Evidence on the Macroeconomic Cost of Natural Catastrophes ». *BIS Working Paper No. 394*. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://ssrn.com/abstract=2195975>>

Voters Taking Action on Climate Change c. Energy and Mines of British Columbia, 2015 BCSC 471, 2015 CarswellBC 805, [2015] B.C.W.L.D. 3277, [2015] B.C.W.L.D. 3315, [2015] B.C.W.L.D. 3461, 252 A.C.W.S. (3d) 352, 94 C.E.L.R. (3d) 35 (British Columbia Supreme Court).

Williams, C. et Routliff, J. (2017). « Disclosure of Information Concerning Climate Change: Liability Risks and Opportunities ». Smith School of Enterprise and the Environment, Commonwealth Climate and Law Initiative. University of Oxford, Oxford. Consulté en juillet 2020 sur le site <https://ccli.ouce.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2018/08/Cynthia-Williams_Disclosure-of-Information-Concerning-Climate-Change.pdf>

Wolfrom, L. et Yokoi-Arai, M. (2016). « Financial instruments for managing disaster risks related to climate change ». *OECD Journal: Financial Market Trends*, 25-47. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/fmt-2015-5jrkdpxk5d5>>

World Economic Forum (2020). « The Global Risks Report 2020 ». Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020>>

Yohe, G. et Strzepek, K. (2007). « Adaptation and mitigation as complementary tools for reducing the risk of climate impacts ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 727-739. Consulté en juillet 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-007-9096-3>>

York County c. Rambo, 3:19-cv-00994 (s.d.). Consulté en juillet 2020 sur le site <<http://climatecasechart.com/case/york-county-v-rambo/>>



Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X. et Kharin, V.V. (2019). Les changements de température et de précipitations au Canada, Chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, (Eds.) E. Bush et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 112–193. Consulté en février 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/4-0/>>



CHAPITRE 9

Dimensions internationales

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteure coordonnatrice principale

Jimena Eyzaguirre, ESSA Technologies Ltd.

Auteurs principaux

Cedar Morton, Ph. D., ESSA Technologies Ltd.

Colette Wabnitz, Ph. D., Université de la Colombie-Britannique et
Université Stanford

Michael Copage, Environnement et Changement climatique Canada

Robert McLeman, Ph. D., Université Wilfrid Laurier

Contributeurs

Danica Lassaline, Environnement et Changement climatique Canada

Juliano Palacios-Abrantes, Ph. D., Université de la Colombie-Britannique

Kamleshan Pillay, Ph. D., spécialiste indépendant en financement de
l'adaptation

Citation recommandée

Eyzaguirre, J., Morton, C., Wabnitz, C., Copage, M. et McLeman, R.
(2021) : Dimensions internationales; chapitre 9 dans Le Canada dans
un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux, (éd.) F.J.
Warren et N. Lulham, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario

Table des matières

Messages clés	704
9.1 Introduction	706
9.1.1 Aperçu des conclusions des évaluations antérieures	708
9.2 Les changements climatiques ont une incidence sur la navigation dans l'Arctique et menacent la souveraineté	709
9.2.1 Introduction	710
9.2.2 Climat, glace marine et navigation dans l'Arctique	710
9.2.3 Risques liés aux changements climatiques pour le contrôle du Canada sur le passage du Nord-Ouest	716
9.2.4 Stratégies pour s'adapter à l'augmentation de l'activité de navigation dans le passage du Nord-Ouest	720
Étude de cas 9.1 : Stratégies d'adaptation pour le tourisme lié aux bateaux de croisière dans l'Arctique canadien	723
9.3 Les ententes transfrontalières relatives aux eaux marines et aux eaux douces ne tiennent généralement pas compte des changements climatiques	724
9.3.1 Introduction	725
Étude de cas 9.2 : Le Traité Canada-États-Unis sur le saumon du Pacifique	726
9.3.2 Ententes maritimes	728
9.3.3 Ententes relatives à l'eau douce	732
Étude de cas 9.3 : Moderniser le Traité Canada-États-Unis du fleuve Columbia pour tenir compte des changements climatiques	743
9.4 Les changements climatiques présentent des risques et des occasions pour le commerce international	745
9.4.1 Introduction	745
9.4.2 Risques liés au commerce et aux changements climatiques	749
9.4.3 Adaptation	770
9.5 Les migrations humaines et les évacuations liées aux changements climatiques augmenteront la demande d'immigration au Canada	773
9.5.1 Introduction	774
9.5.2 Le lien climat-migration	774
9.5.3 Migration actuelle et estimée liée aux changements climatiques	779



9.5.4 Perspectives pour le Canada	782
Étude de cas 9.4 : Le rôle des changements climatiques dans les conflits et les migrations	784
9.6 Une demande accrue d'aide internationale est attendue	785
9.6.1 Introduction	786
9.6.2 Le lien climat-sécurité	786
9.6.3 Demandes d'aide internationale	788
9.6.4 Réaction et perspectives du Canada	789
Étude de cas 9.5 : Recherches sur les initiatives de mise en commun des risques face aux changements climatiques en Afrique du Sud	791
9.7 Aller de l'avant	793
9.7.1 Les lacunes en connaissances et les besoins en recherche	793
9.8 Conclusion	800
9.9 Références	801

Messages clés

Les changements climatiques ont une incidence sur la navigation dans l'Arctique et menacent la souveraineté (voir la section 9.2)

La diminution de l'étendue de la glace marine résultant des changements climatiques permet une augmentation du trafic maritime dans l'océan Arctique, y compris dans le passage du Nord-Ouest. Les changements climatiques et leurs impacts témoignent de la nécessité de renforcer les règles et les capacités pour démontrer l'intendance efficace du Canada dans le passage du Nord-Ouest et pour assurer une navigation sûre, sécuritaire et durable au fil de la fonte des glaces.

Les ententes transfrontalières relatives aux eaux marines et aux eaux douces ne tiennent généralement pas compte des changements climatiques (voir la section 9.3)

Les ententes transfrontalières du Canada relatives aux eaux marines et aux eaux douces n'ont pas été établies en tenant compte des changements climatiques. En collaboration avec des partenaires internationaux, le Canada a l'occasion de faire preuve de leadership dans la préservation de la coopération à long terme et la protection des ressources partagées en s'appuyant sur des pratiques d'adaptation réputées efficaces.

Les changements climatiques présentent des risques et des occasions pour le commerce international (voir la section 9.4)

Le Canada dépend du commerce international et bénéficiera de plus en plus des effets économiques découlant des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques, et de l'adaptation ailleurs dans le monde, surtout dans les pays avec lesquels il entretient de solides liens commerciaux.

Les migrations humaines et les évacuations liées aux changements climatiques augmenteront la demande d'immigration au Canada (voir la section 9.5)

Les cyclones tropicaux, les inondations, les sécheresses, les feux de forêt et l'insécurité alimentaire obligent des millions de personnes à migrer chaque année. D'ici le milieu et la fin du siècle, les changements climatiques généreront un nombre croissant de migrants, en particulier dans les pays les moins développés d'Afrique subsaharienne, d'Asie, d'Amérique latine et des Caraïbes. Le Canada sera soumis à des pressions internes et externes croissantes pour accepter un plus grand nombre d'immigrants en provenance de régions perturbées par les changements climatiques.



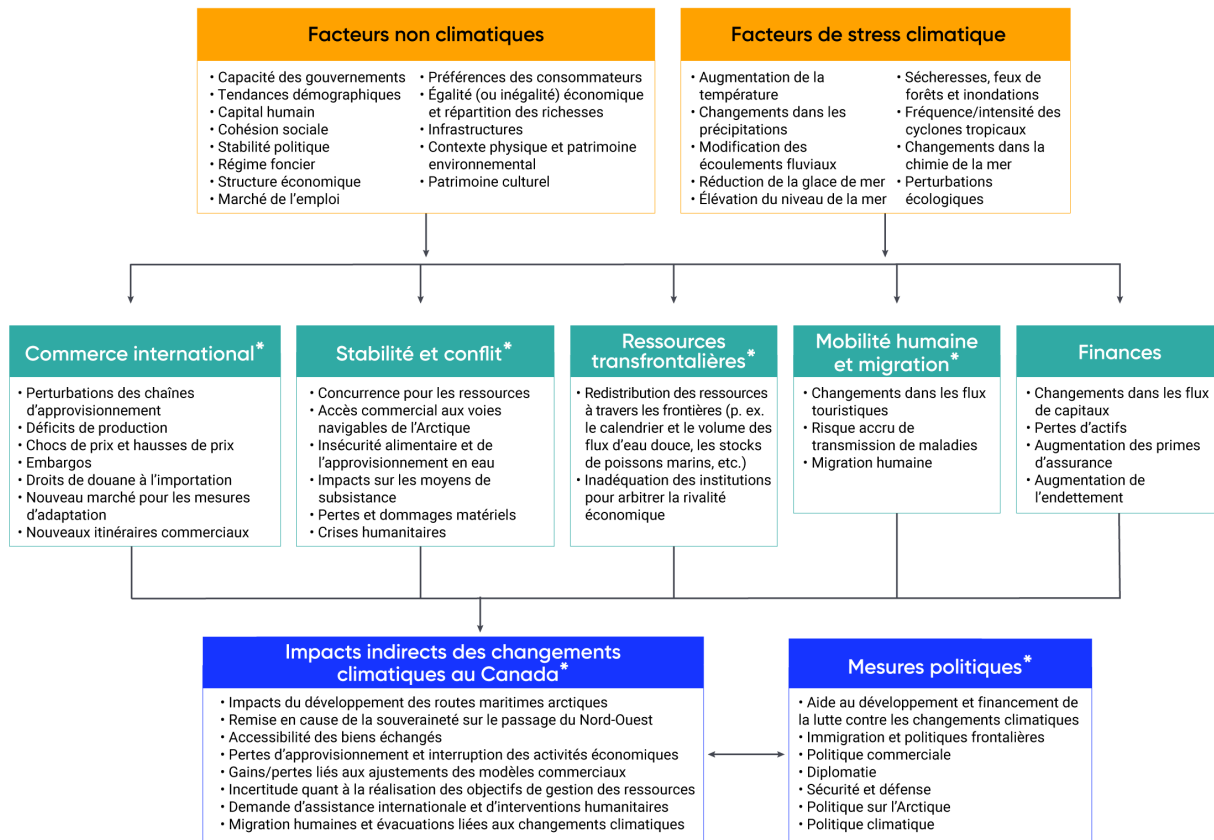
Une demande accrue d'aide internationale est attendue (voir la section 9.6)

Les changements climatiques peuvent nuire à la sécurité humaine dans les pays en développement et accroître les demandes d'aide internationale du Canada. Le Canada s'attaque aux risques climatiques relatifs aux objectifs de développement et d'aide humanitaire en fournissant une aide financière et technique pour l'adaptation et la résilience aux changements climatiques.

9.1 Introduction

Le présent chapitre évalue les risques et les occasions pour le Canada en ce qui a trait aux impacts indirects des changements climatiques et il traite des mesures prises pour les évaluer et les gérer. Il met l'accent sur la navigation dans l'Arctique et la souveraineté sur le passage du Nord-Ouest, la gestion des ressources transfrontalières, le commerce international, les migrations humaines et les évacuations liées aux changements climatiques ainsi que le rôle du Canada dans l'appui de la réduction des risques climatiques et dans l'adaptation aux changements climatiques par le biais de l'aide internationale. Les impacts des changements et de la variabilité climatiques ne se limitent pas aux frontières nationales : ils ont une incidence sur les structures, les institutions et les processus sociaux qui peuvent amplifier, propager ou atténuer les risques (Moser et Hart, 2015). Ces impacts comprennent les flux biophysiques (p. ex. le partage des ressources en eau douce), le commerce et les flux de financement et de personnes (Stockholm Environment Institute, 2013). Les mesures prises pour s'adapter aux changements climatiques peuvent également avoir des ramifications au-delà des domaines ciblés pour leur mise en œuvre (Stockholm Environment Institute, 2018). Par conséquent, il est important d'explorer les vulnérabilités et les impacts provenant de l'extérieur du Canada, ainsi que les dimensions internationales des tendances et des événements qui se produisent au Canada, même s'ils sont rarement pris en compte dans les évaluations des changements climatiques et la planification de l'adaptation (Challinor et coll., 2017; Moser et Hart, 2015).

La portée des dimensions internationales des changements climatiques et de l'adaptation est vaste, tout comme les effets transfrontaliers, téléconnectés et en cascade (Benzie et Persson, 2019). Les effets transfrontaliers s'étendent aux pays voisins. Les effets téléconnectés se propagent par des réseaux sur de grandes distances. Les effets en cascade résultent d'un danger initial qui génère une séquence d'impacts et de réactions en interaction. La figure 9.1 illustre certains des impacts indirects des changements climatiques sur le Canada et sur les mesures politiques connexes. Malgré une prise de conscience croissante des risques pour un pays découlant des impacts observés et projetés des changements climatiques à l'échelle mondiale, particulièrement en ce qui a trait à la sécurité nationale (Collège des Forces canadiennes, 2018), les conséquences potentielles pour le Canada demeurent mal comprises.



*Le chapitre sur les dimensions internationales se concentre sur ces éléments.

Figure 9.1 : Exemples de l'exposition du Canada aux impacts indirects des changements climatiques aux dimensions internationales. Source : Adapté de Hildén et coll., 2020.

Ce chapitre s'inspire de plusieurs sources de publications pour explorer certains impacts indirects des changements climatiques sur le Canada, représentant un mélange de mécanismes de transmission, de portée des impacts et d'occasions d'adaptation. Le chapitre commence par décrire les risques pour le Canada liés à l'augmentation du transport et de la navigation étrangers dans les voies navigables arctiques canadiennes, en mettant l'accent sur le passage du Nord-Ouest et les revendications de souveraineté connexes du Canada. Il examine ensuite la capacité des ententes transfrontalières relatives aux eaux marines et aux eaux douces de s'adapter aux incertitudes accrues posées par le changement rapide du climat et des conditions hydrologiques et océaniques, par opposition aux ententes en place entre les pays ou régissant les bassins marins en regard des pratiques exemplaires en matière d'adaptation. Tant pour la navigation dans l'Arctique que pour la souveraineté et la gestion des ressources transfrontalières, l'adaptation aux changements climatiques comprend des mesures visant à promouvoir la bonne intendance de l'environnement, à préserver la coopération à long terme et à reconnaître les rôles uniques des peuples autochtones. Le chapitre explore ensuite les risques et les occasions économiques pour le Canada découlant des perturbations liées aux changements climatiques sur les chaînes d'approvisionnement et sur les réseaux

de distribution, ainsi que des changements apportés aux modèles de commerce mondial en réponse aux impacts climatiques. L'adaptation dans ce contexte ne se concentre pas seulement sur la protection des intérêts économiques du Canada, mais doit également tenir compte des effets négatifs des ajustements à long terme du commerce pour les collectivités au-delà des frontières du Canada. Les deux dernières sections portent sur la capacité et la volonté du Canada de participer sur la scène mondiale pour endiguer l'instabilité et les conflits dans les régions du monde qui sont vulnérables aux changements climatiques. Après avoir décrit ce qui lie le climat aux migrations humaines ainsi qu'à la sécurité humaine, le chapitre évalue les répercussions des changements climatiques sur les demandes d'immigration, de réinstallation des réfugiés et de programmes d'aide internationale au Canada.

Le chapitre se termine par la détermination des lacunes dans les connaissances et des nouveaux enjeux qui touchent les domaines d'impact. Une attention accrue est donnée à la gouvernance de l'adaptation dans le contexte des risques transfrontaliers ainsi qu'au rôle du Canada dans le renforcement de la résilience des systèmes alimentaires mondiaux face au climat, deux nouveaux enjeux. Ce chapitre aborde également la nécessité d'une utilisation accrue des outils d'évaluation qui répondent aux défis méthodologiques de délimitation des problèmes complexes ainsi que de l'amélioration de la capacité de modélisation économique. Dans l'ensemble, il est évident que le Canada a l'occasion de faire preuve de leadership dans le développement de connaissances et d'outils pour se préparer aux risques climatiques, sous leurs multiples facettes et à plusieurs échelles, et dans le renforcement de la coopération internationale pour soutenir la stabilité mondiale et le bien-être des collectivités dans un monde aux prises avec des perturbations climatiques.

9.1.1 Aperçu des conclusions des évaluations antérieures

Les évaluations antérieures ont porté sur les dimensions internationales des impacts des changements climatiques et de l'adaptation pour le Canada. [Vivre avec les changements climatiques au Canada](#) (Lemmen et coll., 2008) comprenait un chapitre sur le Canada dans un contexte international. Cette évaluation concluait que les impacts des changements climatiques ailleurs dans le monde et les mesures d'adaptation visant à y remédier pourraient avoir des répercussions sur les Canadiens, sur la compétitivité de certaines industries canadiennes, ainsi que sur l'aide internationale, le maintien de la paix et l'immigration. Elle démontrait également que le Canada a la capacité et l'obligation, en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, d'aider les pays en développement à s'adapter aux changements climatiques. Le chapitre soulignait que peu de recherches avaient été entreprises pour comprendre les répercussions de ces impacts sur les politiques et les affaires du point de vue canadien.

[Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation](#) (Warren et Lemmen, 2014) comprenait deux chapitres pertinents. Le chapitre sur l'adaptation comprenait une section sur l'état de l'adaptation à l'échelle internationale, particulièrement dans les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), afin d'offrir des éléments de contexte permettant de mesurer les progrès du Canada. Il concluait que la mise en œuvre des mesures d'adaptation en était aux premiers stades dans la plupart, sinon la totalité, des pays développés, où rares étaient les pays possédant des mandats d'adaptation prescrits par la loi. Il concluait également que les

stratégies nationales d'adaptation, bien qu'utiles pour indiquer l'engagement politique, n'ont pas toujours mené à des actions concrètes (Eyzaguirre et Warren, 2014). Le chapitre sur l'industrie évaluait la recherche sur l'adaptation aux changements climatiques et le commerce international (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). Il concluait que le sujet demeure un domaine émergent, mettant en évidence l'exposition au risque que les changements climatiques perturbent les chaînes d'approvisionnement et les réseaux de distribution qui touchent les marchés commerciaux canadiens et les occasions d'exporter des outils de transfert de risques financiers vers les régions vulnérables. La recherche canadienne n'était pas disponible ou n'était pas mentionnée.

9.2 Les changements climatiques ont une incidence sur la navigation dans l'Arctique et menacent la souveraineté

La diminution de l'étendue de la glace marine résultant des changements climatiques permet une augmentation du trafic maritime dans l'océan Arctique, y compris dans le passage du Nord-Ouest. Les changements climatiques et leurs impacts témoignent de la nécessité de renforcer les règles et les capacités pour démontrer l'intendance efficace du Canada dans le passage du Nord-Ouest et pour assurer une navigation sûre, sécuritaire et durable au fil de la fonte des glaces.

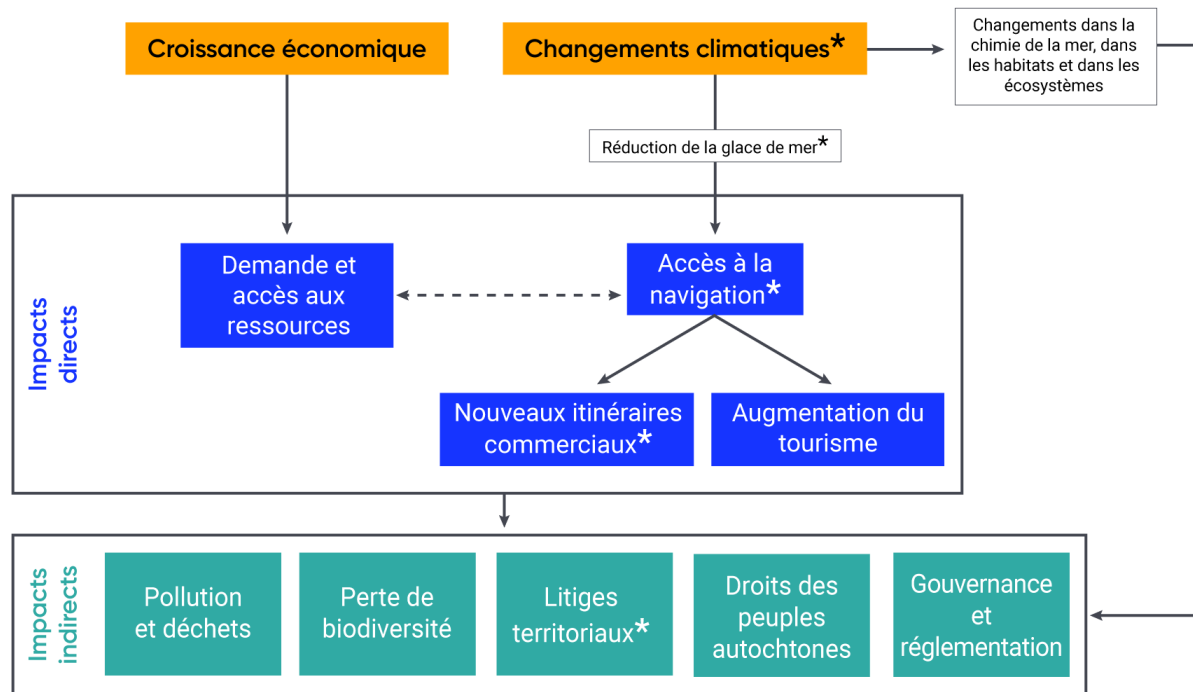
Au cours des dernières décennies, l'étendue et l'épaisseur de la glace marine estivale dans les aires marines de l'Arctique canadien ont diminué de façon constante. L'accès physique aux ressources et aux eaux de l'Arctique permet d'accroître l'activité économique et le trafic maritime, y compris par le passage du Nord-Ouest. Ce dernier relie l'océan Atlantique (baie de Baffin) à l'océan Pacifique (mer de Beaufort). La distance de transport entre New York et Shanghai par le passage du Nord-Ouest est d'environ 20 % inférieure à celle qui passe par le canal de Panama. Pour des motifs de protection de l'environnement, la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer confère aux pays côtiers de l'Arctique comme le Canada le droit de réglementer le trafic maritime dans les eaux couvertes de glace, même dans les détroits où les navires étrangers pourraient autrement jouir du droit de passage en transit sans entrave. Bien que la glace marine estivale ne soit pas susceptible de disparaître entièrement au cours des 30 prochaines années, un réchauffement accru dû aux changements climatiques et une réduction de la glace marine pourraient poser des défis pour les arguments juridiques du Canada en faveur de la réglementation du transport maritime dans les canaux et les détroits du passage du Nord-Ouest. L'utilisation soutenue de ces voies de navigation dans l'Arctique par les pays étrangers pourrait faire du passage du Nord-Ouest un détroit international. L'accès physique progressif aux zones maritimes accroît l'importance de renforcer la capacité du Canada d'exercer de manière proactive une bonne intendance du passage du Nord-Ouest afin de réaliser une combinaison d'objectifs diplomatiques, informationnels, militaires et socio-économiques, ainsi que la protection des droits des peuples autochtones qui le bordent sur toute sa distance.

9.2.1 Introduction

Au milieu des années 2000, l'intérêt canadien et international pour l'avenir de la navigation dans l'Arctique a augmenté en raison du réchauffement des températures, du retrait rapide de la glace marine et d'un boom des produits de base qui ont suscité des attentes quant à la rentabilité de la mise en valeur des ressources énergétiques et minérales dans le Nord (Exner-Pirot, 2016; Guy et Lasserre, 2016; Harber, 2015; Farré et coll., 2014). La présente section fournit de l'information sur la réduction de la glace marine et la navigation dans l'Arctique canadien, puis elle met l'accent sur les risques liés aux changements climatiques pour la souveraineté du Canada sur le passage du Nord-Ouest et traite de la capacité du pays d'assurer une intendance efficace du passage du Nord-Ouest grâce à une navigation sûre, sécuritaire et durable à mesure que les changements climatiques s'intensifient.

9.2.2 Climat, glace marine et navigation dans l'Arctique

Avec le retrait rapide de la glace marine dans l'océan Arctique (Derksen et coll., 2019) et l'accès physique accru à la région et à ses ressources, l'Arctique a désormais une place sur la scène mondiale. Les changements rapides en cours dans le milieu marin de l'Arctique, y compris la diminution de l'étendue, de la durée et de l'épaisseur de la glace marine et les changements dans la répartition et l'abondance des poissons et d'autres ressources biologiques, alimentent des scénarios concurrents de l'avenir de la région. Les scénarios économiques traitent de l'exploitation et de la concurrence par rapport aux ressources naturelles (p. ex. les hydrocarbures, les ressources minérales et les stocks de poissons), de la croissance de l'industrie touristique dans l'Arctique et de l'amélioration du transport maritime (Ash, 2016; Arruda, 2015; Bader et coll., 2014; Williams et coll., 2011). Les scénarios sur la sécurité militaire mettent l'accent sur le renforcement des capacités de défense des pays circumpolaires nordiques (p. ex. Åtland, 2014) et sur les menaces provenant d'éléments criminels (p. ex. les terroristes, les passeurs, les braconniers) (Arctic Domain Awareness Centre, 2017; Charron, 2015; Flake, 2014). Les scénarios environnementaux décrivent l'Arctique comme un patrimoine maritime mondial, où les incidences des changements climatiques touchent l'ensemble de la planète (Bennett, 2015), et comme une zone fragile et vierge potentiellement menacée par des catastrophes liées aux ressources ou au transport maritime (Dodds et Hemmings, 2015). Enfin, les scénarios culturels et fondés sur les droits font état des terres, de la mer et de la glace arctiques comme la patrie des Inuits dont l'utilisation et l'occupation historiques ont renforcé la crédibilité du pays à l'égard des revendications de souveraineté (Inuit Tapiriit Kanatami, 2017; Dodds et Hemmings, 2015; Arnold, 2012; Conseil circumpolaire inuit, 2009). Les facteurs mondiaux du changement dans la région et leur effet d'entraînement sont communs à l'ensemble des scénarios (voir la figure 9.2). Les impacts des changements climatiques, leurs liens avec de nouvelles voies de navigation et les conflits connexes liés aux voies navigables et aux territoires arctiques représentent une partie de ce portrait causal complexe.



*Le chapitre sur les dimensions internationales se concentre sur ces éléments.

Figure 9.2 : Facteurs mondiaux des changements dans le milieu marin arctique. Source : Adapté de Williams et coll., 2011.

Les caractéristiques de la glace marine influencent la navigabilité dans les eaux arctiques, tout comme les vents forts et variables, les conditions des vagues et les tempêtes (Ng et coll., 2018; Pendakur, 2017). Depuis la fin des années 1960, la hausse des températures de l'air a contribué à la diminution de l'étendue, de l'épaisseur et de l'âge de la glace marine estivale dans l'océan Arctique. L'étendue de la glace marine en été a diminué de 5 % à 20 % par décennie dans l'Arctique canadien, y compris dans les zones qui couvrent le passage du Nord-Ouest (voir l'encadré 9.1; Derksen et coll., 2019). Dans l'Arctique canadien, la glace qui auparavant s'accumulait pendant plusieurs années sans fondre est désormais plus mince et saisonnière, la plus grande réduction de glace pluriannuelle étant observable dans la mer de Beaufort et l'archipel Arctique canadien (Derksen et coll., 2019). Selon divers scénarios climatiques, les scientifiques prévoient des réductions continues de la glace marine saisonnière ainsi que l'ouverture progressive des principales voies navigables libres de glace pour une partie de l'année (Derksen et coll., 2019; Meredith et coll., 2019; Ng et coll., 2018). L'augmentation de l'énergie des vagues et de la chaleur dégagée par le mélange fait par les vagues à la surface de l'océan peuvent accélérer davantage la réduction de la glace marine (Greenan et coll., 2019). Les prévisions concernant le moment où les conditions de navigation sont libres de glace diffèrent en fonction des définitions de « libre de glace » et des scénarios sur la concentration mondiale de gaz à effet de serre (GES) utilisés. Par rapport aux autres routes maritimes de l'océan Arctique, l'archipel Arctique canadien est susceptible de voir la présence la glace marine persister, laquelle sera transportée vers le sud

dans le passage du Nord-Ouest et posera un danger continu lié à la glace pour la navigation (Derksen et coll., 2019; Ng et coll., 2018; Greenert, 2014). L'analyse des conditions des vents, des vagues et des tempêtes dans l'Arctique est limitée par des lacunes dans les données de surveillance et les interactions complexes entre la glace, l'océan et l'atmosphère (Ng et coll., 2018). Des études indiquent des tendances qui s'opposent quant à la vitesse du vent, mais la hauteur des vagues et la durée de la saison des vagues dans l'Arctique canadien devraient augmenter au cours du présent siècle à mesure que la glace marine fondra (Greenan et coll., 2019; Ng et coll., 2018). Les observations sur l'évolution de la glace marine des Aînés inuits et des chasseurs expérimentés qui vivent dans les collectivités sises le long de l'archipel Arctique canadien appuient ces résultats scientifiques (Panikkar et coll., 2018).

Encadré 9.1 : Les routes maritimes de l'Arctique sont des voies navigables qui permettent de se déplacer dans l'Arctique

Trois routes relient les océans Pacifique et Atlantique : le passage du Nord-Ouest, le passage du Nord-Est et la route maritime transpolaire (voir la figure 9.3; Østreng et coll., 2013). Le passage du Nord-Ouest englobe les détroits et les bras de mer de l'archipel Arctique canadien et suit la côte nordique de l'Alaska; il comporte cinq routes reconnues (Conseil de l'Arctique, 2009). Le passage du Nord-Est longe les côtes russes et norvégiennes. La route maritime transpolaire traverse l'Arctique au pôle Nord. Deux autres voies navigables sont la route de la mer du Nord, qui fait partie du passage du Nord-Ouest entre le détroit de Béring et la mer de Kara, et le pont de l'Arctique qui relie la Russie au Canada par la baie d'Hudson.

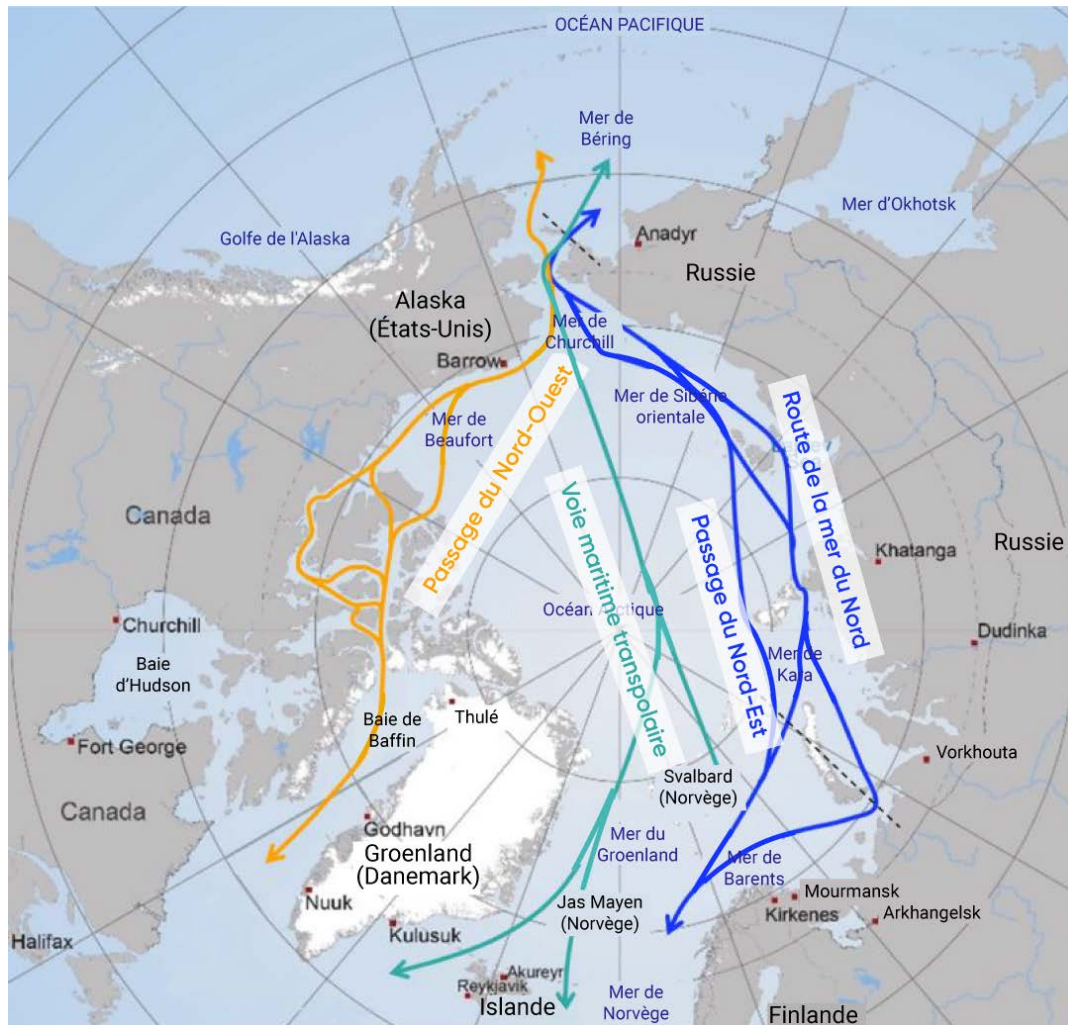


Figure 9.3 : Carte des routes maritimes de l'Arctique. Source : Dyrcoz, 2017.

La navigation dans l'Arctique est attrayante en raison de la possibilité de réduire les distances et les coûts de navigation, et d'économiser du carburant et du temps, par rapport aux routes passant par les voies maritimes au sud (voir le tableau 9.1).

Tableau 9.1 : Distances (en kilomètres) entre des ports importants qui utilisent deux routes maritimes de l'Arctique par rapport aux routes standard

ORIGINE-DESTINATION	CANAL DE PANAMA	SUEZ ET MALACCA	PASSAGE DU NORD-OUEST	PASSAGE DU NORD-EST
Londres–Yokoyama	23 300	21 200	14 080	13 841
Rotterdam–Shanghai	25 588	19 550	16 100	15 793
Hambourg–Seattle	17 110	29 780	13 410	12 770
Rotterdam–Vancouver	16 350	28 400	14 330	13 220
Rotterdam–Los Angeles	14 490	29 750	15 120	15 552
New York–Shanghai	20 880	22 930	17 030	19 893
New York–Hong Kong	21 260	21 570	18 140	20 985
New York–Singapour	23 580	19 320	19 540	23 121

Note : La route du passage du Nord-Ouest utilise le détroit de McClure. Gris = distances les plus courtes, bleu = en deçà de 15 %.

Source : Guy et Lasserre, 2016.

L'activité des navires augmente dans les eaux arctiques, les changements climatiques et la réduction de la glace marine étant certains des facteurs qui ont contribué à cette hausse (Guy et Lasserre, 2016; Pizzolato et coll., 2016). Les types de navires exploités dans la région comprennent les vraquiers et les porte-conteneurs pour le transit vers les marchés du sud; les navires de croisière, les embarcations de plaisance, les pétroliers, les navires-cargo, les remorqueurs et les barges qui œuvrent dans le Nord ou servent au ravitaillement; ainsi que les navires gouvernementaux et les brise-glaces (Dawson et coll., 2018; Beveridge et coll., 2016; Guy et Lasserre, 2016; Lasserre, 2016). Le trafic maritime dans les voies navigables de l'Arctique canadien a presque triplé entre 1990 et 2015 (GIEC, 2019; Hildebrand et coll., 2018, Guy et Lasserre, 2016; PEW Charitable Trusts,

2016; Charron, 2015). Les distances parcourues par type de navire ont également augmenté (Dawson et coll., 2018). Pizzolato et coll. (2016) ont regroupé des ensembles de données spatiales sur l'activité maritime et les concentrations de glace marine dans l'Arctique canadien de 1990 à 2015 et ont ainsi révélé une corrélation statistiquement significative entre ces deux variables dans la mer de Beaufort, l'ouest du chenal Parry, l'ouest de la baie de Baffin et le bassin Foxe. Dans d'autres régions de l'Arctique canadien, les conditions de la glace marine ne représentaient pas un facteur prédictif des tendances de l'activité maritime (Pizzolato et coll., 2016); les facteurs non climatiques, comme la capacité de maintenir des horaires prévisibles, influencent clairement les décisions des exploitants de navires (Beveridge et coll., 2016; Lasserre et coll., 2016). À l'heure actuelle, le trafic de transit dans le passage du Nord-Ouest reste trop faible pour attirer une attention commerciale ou militaire importante (Charron, 2015; Lackenbauer et Lajeunesse, 2014). Entre 2000 et 2014, les transits complets par le passage du Nord-Ouest variaient de six à 30 par année; les embarcations de plaisance comptent pour le type de transits dont la croissance est la plus rapide (Beveridge et coll., 2016; Guy et Lasserre, 2016; gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2015).

Bien qu'il ne fasse presque aucun doute que le trafic maritime augmentera, la navigation abordable et sécuritaire dans l'Arctique sera lente à se développer et il est peu probable que le passage du Nord-Ouest devienne la voie optimale pour le transport maritime international (Lackenbauer et Lajeunesse, 2014). Les projections à moyen terme (de 2030 à 2050) indiquent des centaines de navires circulant sur les routes maritimes de l'Arctique (p. ex. Greenert, 2014); il s'agirait d'une croissance de plus de 5 % de l'activité maritime annuelle (Williams et coll., 2011), une navigation accrue des navires en eau libre et modérément accrue des navires renforcés pour la navigation dans les glaces en septembre (Smith et Stephenson, 2013) et une évolution des échanges commerciaux (Bekkers et coll., 2018). Cependant, le potentiel d'utilisation des routes arctiques en remplacement des routes commerciales traditionnelles du sud est probablement surestimé (Guy et Lasserre, 2016; Farré et coll., 2014). Les occasions d'expansion du transport maritime dans l'Arctique sont atténuées par les défis constants pour la navigation et la sécurité que posent la glace marine mobile en été, la glace qui obstrue les détroits et les canaux, les glaces plus anciennes et plus épaisses et d'autres éléments climatiques (Dirksen et coll., 2019; Ng et coll., 2018; Pendakur, 2017; Farré et coll., 2014). Les incertitudes à l'égard des marchés mondiaux, les prix des produits de base et l'innovation technologique, entre autres facteurs non climatiques, limitent également le potentiel de transport maritime (Johnston et coll., 2017; Andrew, 2014). Ces défis se traduisent par des risques et des coûts pour les exploitants : le coût plus important de construction des navires en raison de la nécessité de les renforcer pour résister aux glaces; les défis saisonniers liés au calendrier; le besoin d'équipement pour repérer et réagir aux glaces et d'équipages possédant une expérience de ces conditions de navigation particulières; et les primes d'assurance élevées (Beveridge et coll., 2016; Guy et Lasserre, 2016). La viabilité économique de la navigation dans l'Arctique, par rapport aux routes du sud, est également entravée par des lacunes technologiques et d'infrastructure, notamment l'absence de ports modernes en eau profonde et d'autres services offerts aux navires en transit, les capacités limitées de recherche et de sauvetage, une cartographie limitée des eaux arctiques et des difficultés continues quant aux prévisions des glaces saisonnières (Melia et coll., 2017; Guy et Lasserre, 2016). Dans l'Arctique, le Canada et la Russie ont adopté des modèles de développement des voies de navigation différents (voir le tableau 9.2; Guy et Lasserre, 2016). Par conséquent, la navigation internationale par le passage du Nord-Ouest, avec des infrastructures et des services sous-développés, pourrait s'avérer moins préférable que la navigation par la route de la mer du Nord (Beveridge et coll., 2016; Bonds, 2016;

Bennett, 2014; Farré et coll., 2014). Par exemple, selon une étude, les compagnies maritimes européennes considèrent fortement l'escorte de brise-glaces et les aides à la navigation comme des services essentiels pour la navigation dans l'Arctique (Lasserre et coll., 2016), ce qui est présent sur la route de la mer du Nord.

Tableau 9.2 : Différences en matière de gouvernance de la route de la mer du Nord par rapport au passage du Nord-Ouest en ce qui a trait au trafic maritime

LA RUSSIE ET LA ROUTE DE LA MER DU NORD	LE CANADA ET LE PASSAGE DU NORD-OUEST
<ul style="list-style-type: none">• Organisme administratif spécial créé pour gérer le trafic entre le détroit de Béring et celui de Kara (Northern Sea Route Administration)• Demandes de transit• Frais de transit obligatoires en échange de prestation de services de pilotage, d'escorte par des brise-glaces et de la possibilité d'accoster dans des ports de petite envergure en cas d'urgence• Pilotage obligatoire• Navires encouragés à se faire escorter par des brise-glaces• Au moins neuf ports en eau profonde• Réseau de centres de recherche et de sauvetage dans l'Arctique	<ul style="list-style-type: none">• Aucuns frais de transit obligatoires• Enregistrement obligatoire des navires transportant plus de 300 tonnes de jauge brute, ou qui transportent des polluants ou des marchandises dangereuses• Aucun service fourni autre que l'aide à la navigation (bouées saisonnières, transmission fréquente des cartes des glaces)• Aucun port en eau profonde• Les bases de recherche et de sauvetage sont situées loin au sud (Gander, Halifax, Trenton, Cold Lake et Comox)

Source : Guy et Lasserre, 2016.

9.2.3 Risques liés aux changements climatiques pour le contrôle du Canada sur le passage du Nord-Ouest

Bien qu'il soit peu probable à court terme que le volume du trafic maritime et les transits internationaux par le passage du Nord-Ouest augmentent considérablement, il serait prudent de se préparer à la croissance à long terme de la navigation et du commerce maritime et aux risques environnementaux, sociaux, économiques, culturels et géopolitiques connexes (Dawson et coll., 2020a; Hauser et coll., 2018; Cotter, 2017). Toutefois,

le passage du Nord-Ouest est considéré comme une ressource contestée et une source de tensions internationales futures, en particulier en regard d'un intérêt accru de l'Asie pour l'Arctique et ses ressources naturelles (Levitt, 2019; Exner-Pirot, 2016; Landriault, 2016; Rothwell, 2015; Wallin et Dallaire, 2011; Huebert, 2010). Les impacts des changements climatiques, notamment la diminution de la glace marine, pourraient affaiblir les revendications territoriales du Canada sur le passage du Nord-Ouest. Les changements climatiques remettent également en question la capacité des infrastructures et des systèmes canadiens en place (p. ex. la recherche et le sauvetage, la surveillance en mer) en vue de démontrer une gestion efficace du passage du Nord-Ouest.

En termes juridiques, la souveraineté désigne les droits reconnus de compétence exclusive sur un territoire (Cox, 2015). Le Canada revendique la souveraineté sur toutes les eaux de son archipel Arctique et considère le passage du Nord-Ouest comme des eaux « intérieures » sur lesquelles le Canada a le pouvoir de réglementer l'entrée et de contrôler l'accès par ses diverses routes (voir la vidéo 9.1; Lalonde, 2019; Lackenbauer et Lalonde, 2017b). L'occupation et l'utilisation historiques des terres, de la mer et des glaces arctiques par les peuples autochtones, l'inclusion de l'archipel Arctique dans la situation de référence du Canada, et l'application des règlements environnementaux dans le passage du Nord-Ouest dans le cadre de la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques* (LPPEA) de 1970 sont des éléments clés des revendications de souveraineté du Canada (Guy et Lasserre, 2016; Cox, 2015; Wright, 2014; Zellen, 2010; Carnaghan et Goody, 2006). De plus, le Canada a affirmé son contrôle militaire dans le Nord par le biais de dépenses en ressources humaines et en infrastructure. Cela comprend l'expansion des Rangers canadiens, une flotte de navires de patrouille, un centre d'entraînement des Forces canadiennes, une installation de ravitaillement en eau profonde et une capacité accrue de surveillance par radar et par satellite. Le maintien du passage du Nord-Ouest dans les eaux intérieures constitue également une priorité pour les Inuits du Canada, puisque le passage fait partie de leur territoire arctique, Inuit Nunangat (voir la vidéo 9.2; George, 2019a; Conseil circumpolaire inuit, 2018). La pollution, les déversements d'hydrocarbures et les effets négatifs sur les mammifères marins sont parmi les principales préoccupations des Inuits par rapport à l'augmentation des activités de navigation (Dawson et coll., 2020a; Conseil de l'Arctique, 2009).



Vidéo 9.1 : Sovereignty: Political science and security scholars' perspective on Arctic sovereignty and shipping in the Northwest Passage (Souveraineté : Le point de vue d'experts sur la science politique et la sécurité en ce qui concerne la souveraineté dans l'Arctique et la navigation dans le passage du Nord-Ouest [en anglais seulement]).
Source : Baldassari, 2017, 2013. <<https://vimeo.com/104400714>>



Vidéo 9.2 : Nilliajut 2 : Inuit Perspectives on the Northwest Passage, Shipping and Marine Use. (Points de vue des Inuits sur le passage du Nord-Ouest, la navigation maritime et l'utilisation maritime [en anglais seulement]).
Source : Inuit Tapiriit Kanatami, 2018. <<https://www.youtube.com/watch?v=0EGzKIQo0jY>>

Les menaces perçues envers la revendication de souveraineté du Canada sur le passage du Nord-Ouest proviennent d'opinions divergentes de certains pays sur le statut du passage du Nord-Ouest à titre d'eaux intérieures canadiennes (Lackenbauer et Lalonde, 2017b). Des cinq États dotés de côtes arctiques, soit le Canada, le Danemark, la Norvège, la Russie et les États-Unis, les États-Unis considèrent depuis longtemps le passage du Nord-Ouest comme un détroit international où les navires et les aéronefs étrangers sont libres de transiter par les eaux et l'espace aérien (Lalonde, 2019; Gouvernement des États-Unis, 2013). Les nations non arctiques ont alimenté la controverse sur le passage du Nord-Ouest. Il convient de noter que l'Allemagne, pays ayant le statut d'observateur auprès du Conseil de l'Arctique, a fait campagne pour la liberté de navigation dans l'océan Arctique, y compris le passage du Nord-Ouest (Ministère fédéral des Affaires étrangères d'Allemagne, 2013). Dans sa politique sur l'Arctique de 2018, la Chine, autre observateur du Conseil de l'Arctique, a invoqué l'importance de la liberté de navigation et du droit d'utiliser les routes maritimes arctiques (République populaire de Chine, 2018). Malgré des préoccupations alarmistes (Exner-Pirot, 2016), les revendications du Canada sur le passage du Nord-Ouest ont été très peu contestées. À ce jour, tous les désaccords maritimes ont été gérés adéquatement par des mécanismes internationaux établis, fournissant une base pour la coopération future entre les États arctiques et au-delà. Les revendications et les règlements du Canada dans l'Arctique sont généralement respectés et la souveraineté n'est aucunement menacée (Charron et Fergusson, 2018).

Il existe des points de vue divergents quant à savoir si les changements climatiques affaiblissent la position du Canada sur les revendications du passage du Nord-Ouest (Burke, 2017; Rothwell, 2015). Les principales incertitudes concernent l'ampleur du trafic international dans le passage du Nord-Ouest et l'interprétation de l'article 234 de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS), qui accorde aux États côtiers le droit de promulguer des lois et des règlements pour contrôler la pollution marine par les navires dans les eaux « couvertes de glace » dans leur zone économique exclusive (Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, 1982). Pour que le passage du Nord-Ouest puisse être considéré comme un détroit international, il devrait répondre à des exigences géographiques et fonctionnelles : il doit relier deux corps de haute mer (ce qu'il fait) et doit être considéré comme « utile » selon ce qui a été déterminé par un nombre suffisant de transits (Carnaghan et Goody, 2006). Les précédents juridiques suggèrent que le petit nombre de transits actuels et ceux qui sont attendus à moyen terme ne qualifieraient pas le passage du Nord-Ouest de route utile pour le trafic maritime international. Cependant, si la fonte accélérée de la glace marine permettait une augmentation substantielle du transport maritime commercial, la perception du passage du Nord-Ouest comme un détroit international s'intensifierait (Lackenbauer et Lalonde, 2017a; Cox, 2015; Huebert, 2001). Le pouvoir conféré par l'article 234 de l'UNCLOS de réglementer le transport maritime dans l'intérêt de la protection environnementale des zones couvertes de glace a permis d'étendre la compétence du Canada dans les eaux arctiques (Burke, 2017; Farré et coll., 2014). À mesure que la glace marine fondra et que la navigation deviendra moins dangereuse, la capacité du Canada à compter sur l'article 234 pour sa légitimité internationale pourrait diminuer (Rothwell, 2015; Farré et coll., 2014). La Russie, qui invoque également l'article 234 pour réglementer les activités maritimes dans sa zone économique exclusive le long de la route de la mer du Nord, pourrait également se voir confrontée à une contestation de ses revendications à mesure que la couverture de glace marine diminue (Flake, 2014).

Indépendamment des positions juridiques sur la souveraineté dans le passage du Nord-Ouest et du droit de contrôler les activités d'autres nations, le Canada peut exercer de façon proactive une bonne intendance du passage du Nord-Ouest (Cox, 2015) en mettant l'accent sur le développement sûr, sécuritaire et durable des

routes maritimes (Dawson et coll., 2020a; Lackenbauer et Lajeunesse, 2014). À l'heure actuelle, le Canada est peu équipé pour faire respecter les mesures de protection de l'environnement dans les voies navigables arctiques du Canada (Giguère et coll., 2017; Cox, 2015; McRae, 2007; Huebert, 2003). Le Canada demeure déficient en matière d'infrastructures (p. ex. cartographie; services de soutien à la navigation, à la météo et aux communications; ports, installations portuaires et terminaux; réparation des navires et gestion des déchets des navires) et dans ses capacités d'intervention d'urgence, y compris en matière de déversements d'hydrocarbures. Une infrastructure adéquate et la capacité d'intervenir en cas d'urgence sont essentielles pour protéger le fragile environnement arctique (Hildebrand et coll., 2018; Lajeunesse, 2018; Giguère et coll., 2017; Conseil de l'Arctique, 2009). La sensibilisation continue au domaine maritime ainsi que la surveillance et la desserte d'une région aussi étendue, éloignée et accidentée resteront des défis financiers et logistiques (Guy et Lasserre, 2016; Dawson et coll., 2014). Outre les efforts de coordination avec les États riverains de l'Arctique, une façon de gérer les risques posés par les navires internationaux est de se concentrer sur les besoins des exploitants internationaux qui assurent le trafic de réapprovisionnement et de destination (Lackenbauer et Lajeunesse, 2014; Charron, 2005). Cette stratégie appelle également le respect de la souveraineté canadienne sur le passage du Nord-Ouest, tout comme l'approche de la Russie : la prestation de services de pilotage et de brise-glaces dont l'utilisation est obligatoire ainsi que ses investissements dans l'infrastructure maritime et les capacités de recherche et de sauvetage appuient ses revendications sur les eaux de la route de la mer du Nord (Cotter, 2017).

9.2.4 Stratégies pour s'adapter à l'augmentation de l'activité de navigation dans le passage du Nord-Ouest

La gestion des impacts indirects des changements climatiques, comme l'augmentation du trafic maritime international dans le passage du Nord-Ouest, la concurrence sur les nouvelles voies de navigation et les affronts à la souveraineté du Canada, est moins axée sur la réduction de menaces climatiques particulières et davantage sur l'amélioration des capacités pour atteindre des résultats valorisés, alors même que le climat évolue (Meredith et coll., 2019; Stockholm Environmental Institute, 2013). L'opinion publique canadienne sur la façon d'affirmer la souveraineté du pays dans l'Arctique s'est modifiée au fil des ans, passant d'une préférence marquée pour les capacités militaires et la surveillance de 2000 à 2005 à une approche mixte qui comprend aussi la prise en compte de la diplomatie, des besoins des communautés nordiques et autochtones, de la science et de la protection de l'environnement de 2011 à 2014 (Landriault, 2016). La discussion suivante sur la possibilité de renforcer la capacité du Canada à développer des voies navigables arctiques sûres, sécuritaires et gérées de façon durable dans un environnement en rapide évolution s'appuie sur trois cadres de travail : le cadre de travail pour la résilience de l'Arctique (Conseil de l'Arctique, 2017); le cadre de travail pour favoriser les capacités stratégiques en matière de sécurité climatique (Werrell et Femia, 2019); et la Déclaration circumpolaire inuite sur la souveraineté de l'Arctique (Conseil circumpolaire inuit, 2009). Ces stratégies aux multiples facettes visant à renforcer la capacité d'adaptation comprennent des thèmes diplomatiques, informationnels, militaires et socio-économiques. La protection des droits des peuples autochtones fait partie intégrante de chacun de ces thèmes.

Les capacités diplomatiques comprennent la coopération internationale et le renforcement actif des normes internationales qui régissent l'Arctique. La gouvernance de l'Arctique comprend un ensemble d'ententes

bilatérales et multilatérales, issues du Conseil de l'Arctique et de l'Organisation maritime internationale, et ancrées dans la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (Arruda, 2015; Borgerson, 2013). Les instruments existants ont été efficaces pour mener à ce jour des actions cohérentes et coopératives (Chambre des communes, 2019; Plouffe, 2011; Byers, 2010; Gouvernement du Canada, 2010; Byers et Lalonde, 2009), mais il faut tenir compte des conditions changeantes, qu'elles soient climatiques ou autres (Byers, 2010). Par exemple, le Recueil international de règles applicables aux navires exploités dans les eaux polaires (« Recueil sur la navigation polaire ») adopté en 2017 clarifie les normes de navigation et les normes relatives aux navires commerciaux, aux préoccupations opérationnelles, à la recherche et au sauvetage dans les eaux polaires et à la protection de l'environnement. La surveillance et la prévision de l'état des glaces seront essentielles à l'application efficace du Recueil (Guy et Lasserre, 2016). La hausse du transport maritime dans l'Arctique a entraîné un taux plus élevé d'accidents signalés par kilomètre parcouru que dans les voies navigables du sud (Conseil des académies canadiennes, 2016), de bruit et de pollution atmosphérique (Marelle et coll., 2018; Halliday et coll., 2017), ainsi que des perturbations de la faune et des activités culturelles des résidents des collectivités (Olsen et coll., 2019; Panikkar et coll., 2018). Ces tendances rendent plus urgente la résolution des problèmes pratiques entre les États côtiers et, en partenariat avec les Inuits, la gestion et le financement des services de navigation tels le contrôle de la circulation, les aides à la navigation, la protection de l'environnement et les procédures de nettoyage (Charron, 2005). L'adaptation aux changements climatiques de l'industrie des navires de croisière, qui est en rapide évolution, est un domaine de recherche actif (voir l'étude de cas 9.1), car le secteur des navires de croisière a besoin d'une meilleure gouvernance (Pashkevich et coll., 2015).

Les capacités informationnelles font référence à la collecte et à la diffusion de renseignements sur les risques posés par les changements climatiques et les mesures correspondantes. Les changements climatiques sont l'un des nombreuses pressions qui façonnent le transport maritime dans l'Arctique ainsi que ses effets sur les personnes et les écosystèmes. Par conséquent, les gouvernements et d'autres instances se tournent vers des approches holistiques qui intègrent des méthodes spatiales, analytiques et de modélisation pour comprendre les dommages passés et futurs de l'activité de navigation maritime et les occasions qui découlent de celle-ci (Pickard et coll., 2019). Le groupe des corridors de l'Arctique, en partenariat avec Northern Voices, a étudié et rédigé de nombreux rapports sur les changements climatiques et les effets cumulatifs du transport maritime (Carter et coll., 2019). Il existe un certain nombre de ressources de données et d'outils pour faciliter l'intégration des impacts directs des changements climatiques (p. ex. les changements des caractéristiques de la glace marine, les précipitations, les vents forts et variables, les changements des niveaux de la mer et des caractéristiques des vagues, la dégradation du pergélisol et l'érosion côtière accrue) dans les plans et les décisions portant sur la navigation maritime et pour évaluer la force des stratégies de gestion (Debortoli et coll., 2019; Pendakur, 2017). Par exemple, les efforts visant à déterminer les voies de navigation sécuritaires s'appuient sur les données recueillies pour mesurer la profondeur des eaux de l'Arctique dans le cadre de la soumission du Canada à l'UNCLOS sur son plateau continental étendu (Affaires mondiales Canada, 2019b). Conformément à son mandat de maintenir l'infrastructure côtière et des voies navigables sécuritaires, le ministère des Pêches et des Océans a élaboré un outil de planification sur le Web pour produire des estimations de la variabilité et des changements climatiques dans la mer de Beaufort, le détroit de Davis et la région du Delta Mackenzie (ministère des Pêches et des Océans, 2018). Toutefois, les tendances et les projections des variables socio-économiques, y compris les impacts indirects des changements climatiques, sont moins largement étudiées. Comprendre et

évaluer les risques futurs liés aux changements climatiques du trafic maritime international dans le passage du Nord-Ouest peut s'avérer difficile en raison des incertitudes en jeu. Les outils de prévision, tels que la création de scénarios et le balayage de l'horizon, peuvent aider à définir des mesures de gestion robustes pour plusieurs scénarios possibles (Fetzek et coll., 2017). Utilisés dans la planification de la sécurité nationale (p. ex. Pezard et coll., 2018), les outils de prévision aident également à planifier l'adaptation aux changements climatiques et à renforcer les mesures d'urgence. Les institutions chargées de traduire les points de vue des décideurs pour les aider à prendre des mesures appropriées sont tout aussi importantes dans la création de l'information sur les risques climatiques (Conseil de l'Arctique, 2017; Fetzek et coll., 2017).

Les capacités militaires correspondent à celles que possèdent les forces armées et les organismes de défense nationale. En tant que membre de l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN), qui a reconnu les changements climatiques comme un multiplicateur de menace, le Canada est conscient des menaces que les changements climatiques représentent pour la sécurité. La politique de défense Protection, Sécurité, Engagement du Canada représente son engagement à accroître sa capacité d'application de la loi, sa connaissance de la situation et sa surveillance des eaux arctiques, en considérant les changements climatiques comme l'un des facteurs à l'origine de la nécessité de ces capacités améliorées (Gouvernement du Canada, 2017b). Une Stratégie énergétique et environnementale de la Défense connexe guide les efforts d'écologisation de la Défense canadienne (ministre de la Défense nationale, 2017). Tant la politique de défense que la stratégie d'écologisation définissent les investissements et les mesures concrètes visant à réduire l'empreinte carbone des installations et des opérations de défense, mais elles sont beaucoup moins précises quant aux investissements et aux mesures nécessaires pour s'adapter aux changements climatiques. Les Forces canadiennes sont déjà très sollicitées pour répondre aux urgences climatiques au pays et à l'étranger, et les changements climatiques devraient accroître la demande d'aide militaire (Major et Shivji, 2019). L'intégrité des biens et des installations militaires pourrait être menacée par les changements climatiques. Bien que les États-Unis aient établi la liste de leurs installations et de leurs opérations militaires les plus vulnérables aux changements climatiques comme fondement de l'établissement de leurs priorités (Centre pour le climat et la sécurité, 2020), le Canada ne l'a pas fait. Des symposiums sur les changements climatiques et la sécurité, comme ceux qui ont été organisés par le Collège des Forces canadiennes en 2018 et en 2020 (Collège des Forces canadiennes, 2021), peuvent contribuer à faire connaître ces lacunes aux décideurs de haut niveau.

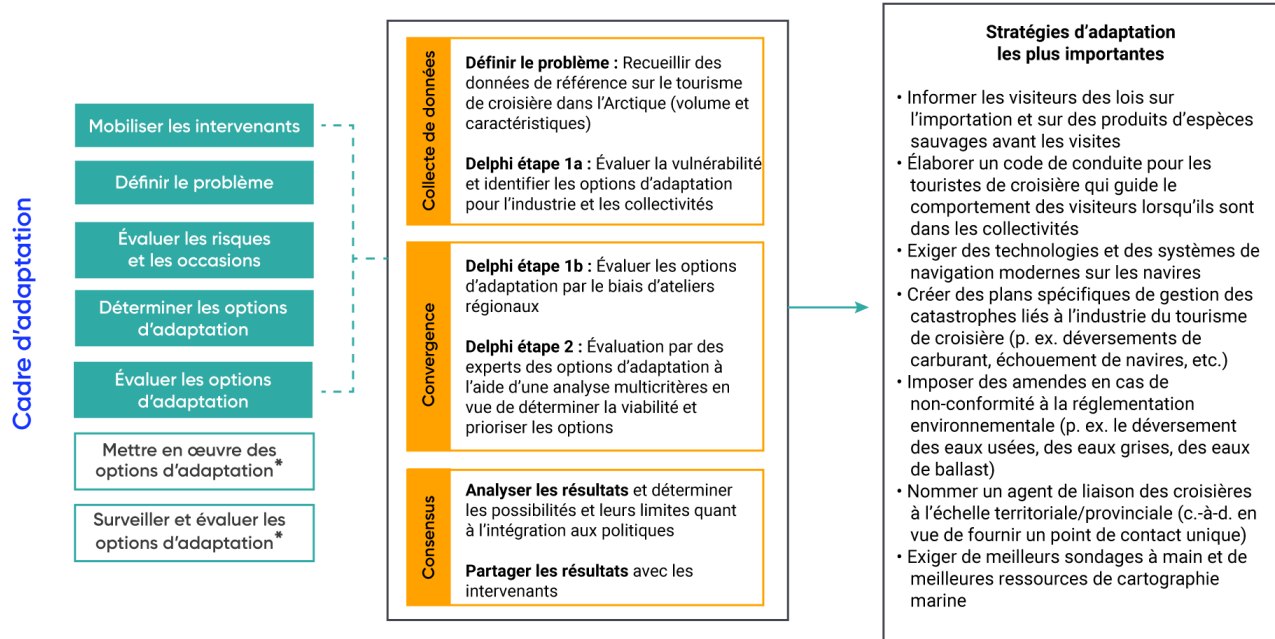
Les capacités dans le domaine du développement socio-économiques dépendent des investissements en capital et en infrastructure et des politiques et règlements publics applicables aux eaux arctiques qui tiennent compte des risques climatiques. Les solutions d'adaptation aux changements climatiques pour les navires et la navigation dans l'Arctique et pour les infrastructures maritimes sont de plus en plus documentées et comprennent des évaluations des risques liés aux activités hivernales, l'hivernage spécifique des navires (y compris pour les environnements de glace mixte) et le déplacement d'infrastructures côtières de réapprovisionnement (Meredith et coll., 2019; Pendakur, 2017). Elles s'appliquent aussi bien aux opérateurs du secteur privé qu'à ceux du secteur public. Sur les plans stratégique et politique, le cadre stratégique pour l'Arctique et le Nord, l'initiative sur les effets cumulatifs de la navigation maritime du Plan de protection des océans, les corridors de transport maritime du Nord (maintenant appelés « Couloirs de navigation à faible impact ») et les évaluations stratégiques des impacts environnementaux liés au développement des ressources de l'Arctique (p. ex. la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions, 2019) sont des initiatives qui pourraient soutenir le développement sûr et durable de la navigation dans le passage

du Nord-Ouest (Porta et coll., 2017; PEW Charitable Trusts, 2016). L'initiative des couloirs de navigation à faible impact en particulier offre une réponse prometteuse à l'augmentation de l'activité maritime dans l'Arctique (Dawson et coll., 2020a), car elle propose d'installer les services (p. ex. l'intervention d'urgence, le soutien à la navigation) et l'infrastructure nécessaires pour assurer une navigation plus sûre tout en tenant compte de l'importance du contexte écologique et culturel (Levitt, 2019). Les collectivités inuites reconnaissent les avantages potentiels du transport maritime, mais demandent instamment qu'une recherche inclusive et collaborative soit menée afin de déterminer les couloirs dont les impacts négatifs seraient minimaux sur les activités traditionnelles et les écosystèmes sensibles (Dawson et coll., 2020a).

Étude de cas 9.1 : Stratégies d'adaptation pour le tourisme lié aux bateaux de croisière dans l'Arctique canadien

L'activité touristique liée aux bateaux de croisière dans l'Arctique canadien est en forte croissance, ayant plus que doublé entre 2005 et 2013 (Dawson et coll., 2016). Le meilleur accès physique, le riche patrimoine culturel et naturel de l'Arctique, et une gamme de produits en expansion font du passage du Nord-Ouest une zone populaire à visiter pour les passionnés du « tourisme frontalier » et une base croissante pour les bébé-boumeurs disposant de revenus disponibles. À l'heure actuelle, la gestion de la navigation des expéditions de croisière a lieu dans le cadre réglementaire complexe et multijuridictionnel applicable à toutes les expéditions maritimes dans la région (Dawson et coll., 2014). Cependant, la navigation de croisière diffère de la navigation industrielle de plusieurs façons, y compris par sa déviation des principaux couloirs de navigation à la recherche de glace, d'espèces sauvages et de culture. Cela implique de naviguer dans des eaux parfois difficiles et non cartographiées, de chercher l'accès à des sites côtiers et d'interagir avec la population locale. Les chercheurs, les opérateurs privés et les organisations inuites canadiennes constatent la nécessité d'améliorer la gouvernance du secteur. La limitation de la taille des navires de croisière qui pénètrent dans les voies navigables de l'Arctique, l'interdiction de l'utilisation de pétrole lourd dans les eaux arctiques, l'établissement de lignes directrices pour les zones les plus fréquemment visitées et la réglementation des perturbations occasionnées par les navires de croisière sur la faune (oiseaux et mammifères) et leurs habitats sont des exemples de mesures possibles (Inuit Tapiriit Kanatami, 2017; Kujawinski, 2017; The Maritime Executive, 2016; Dawson et coll., 2014).

La gestion efficace des risques liés aux changements climatiques est également essentielle à la croissance et à l'évolution durables de l'industrie des navires de croisière dans l'Arctique. Une recherche qualitative menée par Dawson et coll. (2016) auprès de plus de 300 résidents, exploitants de croisières et décideurs régionaux, a permis de déterminer les sept stratégies d'adaptation les plus réalisables et les plus souhaitables pour le tourisme de croisière dans l'Arctique canadien (voir la figure 9.4). Les démarches ascendantes servant à déterminer les besoins et les priorités en matière d'adaptation dans la gestion des changements climatiques tendent à se préoccuper des vulnérabilités et des risques actuels. Si elles sont véritablement participatives, elles produisent également des résultats qui sont conformes aux priorités, aux buts, aux normes et aux institutions locales constituant ainsi un fondement au succès de la mise en œuvre.



*La recherche n'a pas porté sur ces deux étapes.

Figure 9.4 : Résumé du processus de recherche utilisé par Dawson et coll. (2016) pour définir des stratégies d'adaptation prometteuses pour le tourisme lié aux bateaux de croisière dans l'Arctique canadien. La technique Delphi repose sur la sollicitation itérative et structurée d'experts pour produire des jugements consensuels. Source : Adapté de Dawson et coll., 2016.

9.3 Les ententes transfrontalières relatives aux eaux marines et aux eaux douces ne tiennent généralement pas compte des changements climatiques

Les ententes transfrontalières du Canada relatives aux eaux marines et aux eaux douces n'ont pas été établies en tenant compte des changements climatiques. En collaboration avec des partenaires internationaux, le Canada a l'occasion de faire preuve de leadership dans la préservation de la coopération à long terme et la protection des ressources partagées en s'appuyant sur des pratiques d'adaptation réputées efficaces.

Malgré les différences dans les ententes régissant le partage des ressources relatives aux eaux marines et aux eaux douces au-delà des frontières internationales, il existe une similitude quant à l'hypothèse générale selon laquelle les conditions environnementales ne changeront pas au fil du temps. Dans un climat en changement, se fier à cette hypothèse risque de provoquer l'utilisation de ressources non durables, ce qui pourrait déstabiliser les relations de coopération existantes. En tant que contributeur important aux négociations internationales sur l'environnement, le Canada est bien placé pour aider à moderniser les institutions de gestion des ressources transfrontalières afin de fournir des cadres plus résilients pour faire face à l'incertitude, promouvoir la bonne intendance de l'environnement et améliorer la représentation des groupes affectés et des gouvernements autochtones.

9.3.1 Introduction

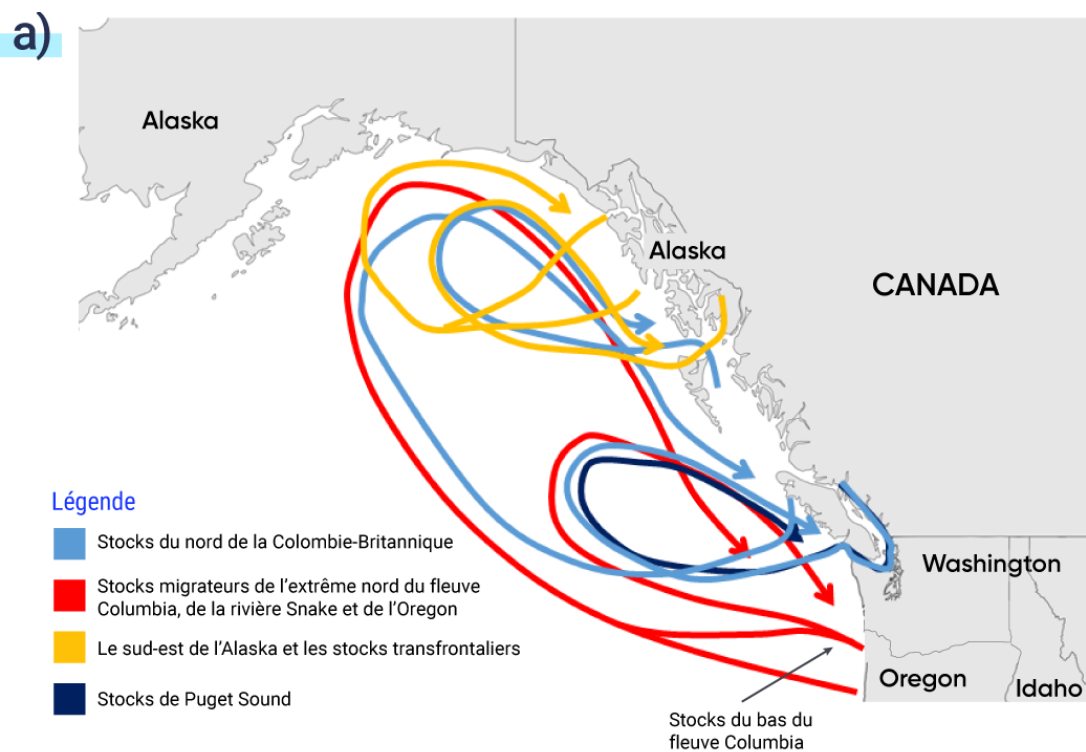
La plupart des ententes régissant les eaux marines et les eaux douces partagées qui traversent la frontière entre le Canada et les États-Unis ont été négociées et signées avant que les changements climatiques ne deviennent une préoccupation reconnue. Ces arrangements sont confrontés à de nouveaux défis puisqu'ils supposent une « stationnarité ». Les changements climatiques invalident l'hypothèse selon laquelle les conditions environnementales peuvent être adéquatement prédites à partir des données historiques; par conséquent, le recours continu à la stationnarité menace l'utilisation durable des ressources et la stabilité des relations de coopération (Sumaila et coll., 2020; Britten et coll., 2017; Szuwalski et Hollowed, 2016; Criddle, 2012; Craig, 2010; Hanna, 2008; Milly et coll., 2008). Les répercussions physiques comme les changements dans la périodicité et le volume des débits ou dans la fréquence et la durée des inondations et des sécheresses auront des incidences économiques différentes outre-frontière et représenteront probablement un enjeu pour les mécanismes d'allocation existants. De plus, puisque les risques liés aux changements climatiques diffèrent au Canada et aux États-Unis, chaque pays détiendra des avantages futurs différents découlant des écosystèmes marins et d'eau douce qu'ils partagent, ce qui compliquera leur capacité de s'entendre sur la valeur de ces avantages (Sumaila et coll., 2011; Sumaila, 2005).

Les écosystèmes marins et d'eau douce du Canada possèdent des caractéristiques différentes, mais ils sont très interconnectés et partagent des risques liés aux changements climatiques. Par rapport aux bassins versants, il est plus difficile de diviser les écosystèmes marins en unités écologiques distinctes, et les ententes connexes ont tendance à se concentrer sur une seule question (p. ex. la navigation, la pollution, les espèces envahissantes, les pêches et la protection de l'environnement). On peut citer, par exemple, le Traité sur le saumon du Pacifique, le Protocole au Traité sur l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement et le Plan d'urgence Canada-États-Unis sur la lutte contre la pollution marine. Les ententes sur l'eau douce considèrent souvent un ensemble d'avantages communs, telles la production d'hydroélectricité, la gestion des crues, l'irrigation agricole, la navigation, la pêche et la gestion de la qualité de l'eau. Les exemples comprennent le Traité sur le fleuve Columbia, l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et le Traité des eaux limitrophes. Malgré ces différences, il existe des liens essentiels entre les écosystèmes marins et d'eau douce. Les deux sont sujets à des variations climatiques à long et à court terme (p. ex. l'oscillation décennale du Pacifique, l'oscillation australe El Niño) et sont sensibles aux variations des températures de l'eau (Di Lorenzo et Mantua, 2016; Pinsky et coll., 2013; Cheung et coll., 2009; Holled et coll., 2001; Mantua et coll., 1997; Wood et McDonald, 1997). Les espèces anadromes, comme le saumon, qui naît

en eau douce migre vers la mer, puis remonte son cours d'eau d'origine pour frayer, renforcent la nécessité de considérer les effets cumulatifs sur les écosystèmes marins, riverains et terrestres. Les ententes qui reconnaissent ces liens permettent plus adéquatement de faire face à un avenir climatique incertain (voir l'étude de cas 9.2).

Étude de cas 9.2 : Le Traité Canada–États-Unis sur le saumon du Pacifique

Le Traité sur le saumon du Pacifique (Commission du saumon du Pacifique, 2016a) a été ratifié en 1985 pour prévenir la surpêche et améliorer la gestion de cinq stocks de saumon que se partagent le Canada et les États-Unis (Miller, 1996; Yanagida, 1987). Le Traité sur le saumon du Pacifique a été renégocié avec succès en 1999 grâce à une approche multipartite pour résoudre les conflits sur les « interceptions » de poissons qui proviennent d'un pays, mais qui sont capturés dans l'autre (voir la figure 9.5). À l'époque, le traité prévoyait également un fonds de restauration et d'amélioration (Commission du saumon du Pacifique, 2016b) pour soutenir des populations de saumon saines dans les milieux marins et d'eau douce. La préoccupation de l'entente quant aux espèces anadromes illustre comment la relation entre les environnements marins et d'eau douce peut être prise en compte dans une entente transfrontalière. Les recommandations conjointes présentées en 2018 pour une nouvelle entente sur 10 ans reconnaissent explicitement les changements climatiques et comprennent des dispositions relatives à la surveillance à long terme et à la gestion fondée sur la science, de même que des engagements renouvelés pour appuyer les occasions de conservation et d'utilisation durable pour les pêcheurs autochtones, commerciaux et récréatifs.



b)

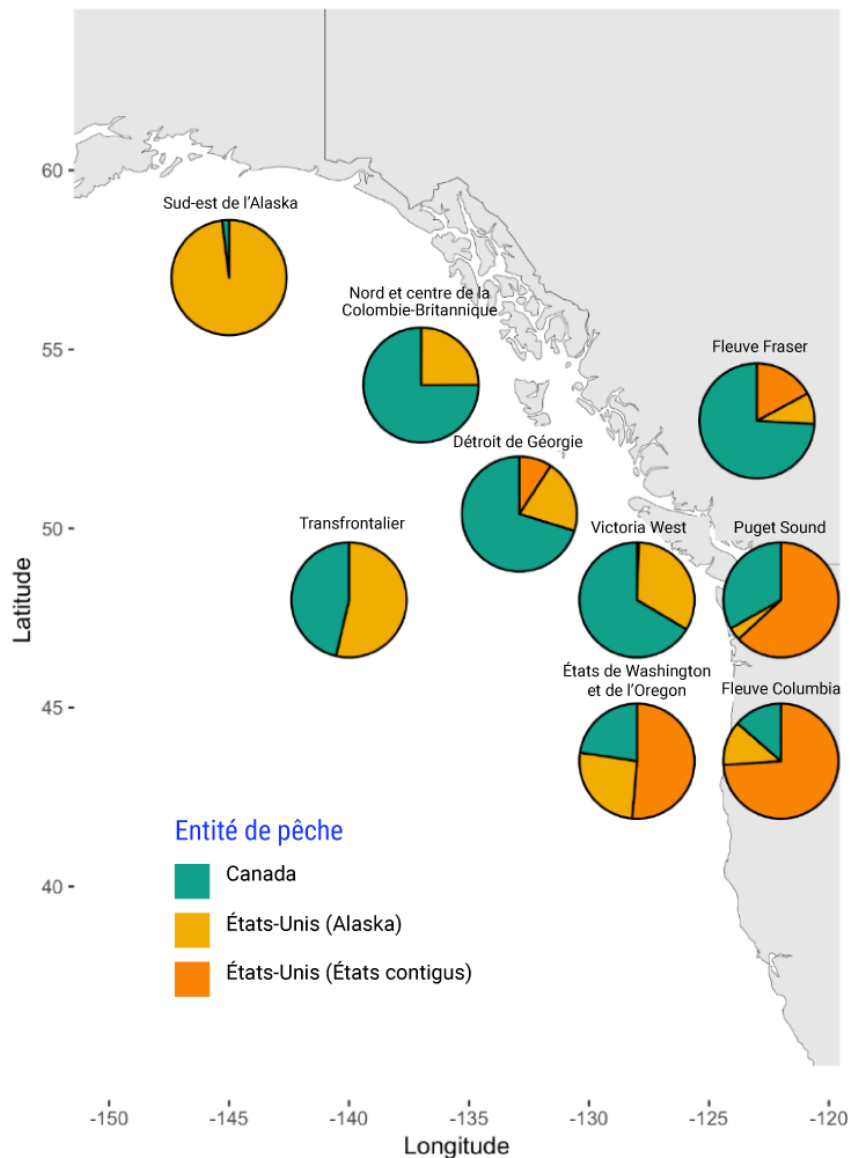


Figure 9.5 : a) Profils migratoires des principaux groupes de stocks de saumon quinnat (*Oncorhynchus tshawytscha*). Source : Adapté de National Marine Fisheries Service, 2019. b) Captures moyennes régionales de saumon quinnat (*Oncorhynchus tshawytscha*) pour la période allant de 2009 à 2017 dans le cadre des pêches gérées par le Traité sur le saumon du Pacifique. Les valeurs dans les graphiques à secteurs représentent la proportion pour chaque région de stock principal de saumon quinnat capturé par des entités de pêche individuelles (moyenne à l'échelle des stocks régionaux), et ne comprennent pas les échappées. Source des données : Commission du saumon du Pacifique, 2019.

Lectures complémentaires : McIntosh, 2016; Peterman et coll., 2016; Temby et coll., 2015; Criddle, 2012; McKinney et coll., 2010; Munro et coll., 1997; Miller, 1996; Munro et Stokes, 1989.

En tant que contributeur important aux négociations internationales sur l'environnement et à la gouvernance mondiale de l'environnement (Stoett, 2018), le Canada est bien placé pour promouvoir des solutions de gestion des ressources transfrontalières adaptatives et inclusives. La plupart des ententes canadiennes relatives à la mer et à l'eau douce respectent déjà des principes largement acceptés, comme l'obligation de coopérer, de ne pas nuire et d'utiliser équitablement les produits (Koubrak et VanderZwaag, 2020; Paisley, 2002; Nations Unies, 1970). De plus, son accès à certains des plus grands stocks de poissons anadromes au monde place le Canada dans une position unique pour défendre la gestion intégrée des eaux marines et des eaux douces dans les systèmes transfrontaliers. Un objectif global d'adaptation aux changements climatiques pour les ressources transfrontalières consiste à promouvoir des institutions de gestion capables de répondre à une variabilité accrue tout en préservant des avantages partagés à long terme. Les sections suivantes présentent les défis que les changements climatiques posent à la gouvernance partagée des ressources marines et d'eau douce transfrontalières ainsi que les possibilités d'adaptation.

9.3.2 Ententes maritimes

Le Canada est cerné par trois océans dont les ressources marines offrent d'importants avantages écologiques, sociaux, économiques et culturels (Cisneros-Montemayor et coll., 2017; Ommer, 2007; Nuttall, 2005; ministère des Pêches et Océans Canada, 2002). En 2016, les exportations de la Colombie-Britannique de merlu du Pacifique (*Merluccius productus*), de saumon quinnat (*Oncorhynchus tshawytscha*) et de flétan du Pacifique (*Hippoglossus stenolepis*) à elles seules, toutes faisant partie des ressources marines partagées, se sont élevées à 161,6 millions de dollars (Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017).

L'évolution des conditions océaniques découlant des changements climatiques a entraîné des changements géographiques importants pour la faune marine, une situation qui devrait se poursuivre ou s'accroître à l'avenir. Avec la hausse des températures océaniques, les espèces marines sont déjà en train de migrer vers le pôle (Palacios-Abrantes et coll., 2020a; Pinsky et coll., 2018; Poloczanska et coll., 2016; Weatherdon et coll., 2016; Cheung et coll., 2015; García Molinos et coll., 2015; Kintisch, 2015; Peterson et coll., 2015; Pinsky et coll., 2013; Poloczanska et coll., 2013; Fogarty, 2012) ou vers des eaux plus profondes (Dulvy et coll., 2008) pour rester dans la plage de température qui leur convient. Les mouvements peuvent être temporaires; par exemple, de plus grandes quantités de merlu du Pacifique (merlan) ont migré vers le nord dans les eaux canadiennes durant les épisodes chauds liés à El Niño de 1998 et de 2015 (Berger et coll., 2017). Les changements sont également associés à des réactions écologiques et à des interactions alimentaires modifiées qui accroissent l'incertitude quant à la productivité des stocks et à la vulnérabilité des poissons à la pollution et à l'exploitation (Cheung, 2018; Cheung et coll., 2016; Cheung et coll., 2015; Doney et coll., 2012; Gruber et coll., 2012; Ainsworth et coll., 2011; Perry et coll., 2005).

Le mouvement transfrontalier des stocks de poissons redistribue les ressources marines partagées (voir la figure 9.6), ce qui remet en question les structures de gouvernance coopérative existantes (voir le tableau 9.3). L'incertitude entourant cette redistribution modifie le contexte de gestion relativement statique dans lequel les droits et les responsabilités contractuels et réciproques ont été convenus à l'origine (Gullestad et coll., 2020; Hannesson, 2020; Mendehall et coll., 2020; Østhagen et coll., 2020; Palacios-Abrantes et coll., 2020a, b; Bindoff et coll., 2019; Wenar, 2015; Mills et coll., 2013; Ringius et coll., 2002; Nations Unies, 1970);

cela pourrait accentuer les désaccords en matière d'allocations de pêche (Pinsky et coll., 2018; Spijkers et Boonstra, 2017; Berkes, 2010). L'incertitude quant à l'ampleur et au moment des changements climatiques rend également plus difficile de collaborer à l'élaboration et à la mise en œuvre de politiques transfrontalières claires et pragmatiques (Engler, 2020; Pecl et coll., 2017; Holled et coll., 2013; Polasky et coll., 2011; Miller et coll., 2010; Brander, 2007; Miller, 2007).

Tableau 9.3 : Ententes dont le Canada est membre et qui traitent des stocks transfrontaliers

ENTENTES	OCÉANS	MEMBRES (NOMBRE ACTUEL DE MEMBRES)	ESPÈCES	NOMBRE D'ESPÈCES/ DE GROUPES D'ESPÈCES
Convention pour la conservation des pêcheries de flétan du Pacifique Nord et de la mer de Béring	Pacifique	Canada et États-Unis (2)	Flétan du Pacifique	1
Traité sur le saumon du Pacifique	Pacifique	Canada et États-Unis (2)	Saumon du Pacifique : saumon kéta, saumon quinnat, saumon coho, saumon rose et saumon rouge	5
Traité sur le merlu blanc du Pacifique	Pacifique	Canada et États-Unis (2)	Merlu du Pacifique	1
Convention sur la coopération dans la zone de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-ouest	Atlantique	Islande, Japon, République de Corée, Norvège, Fédération de Russie, Ukraine, Canada, Cuba, Danemark (îles Féroé et Groenland), Union européenne, France (Saint-Pierre-et-Miquelon) et États-Unis (12)	Morue de l'Atlantique, sébaste, plie canadienne, limande à queue jaune, plie grise, merluche blanche, capelan, raie épineuse, flétan du Groenland, encornet rouge, crevette nordique	11*

ENTENTES	OCÉANS	MEMBRES (NOMBRE ACTUEL DE MEMBRES)	ESPÈCES	NOMBRE D'ESPÈCES/ DE GROUPES D'ESPÈCES
Convention pour la conservation du saumon de l'Atlantique Nord	Atlantique	Canada, Danemark (îles Féroé et Groenland), Union européenne, Norvège, Fédération de Russie et États-Unis (6)	Saumon de l'Atlantique	1
Convention concernant la conservation des espèces anadromes de l'océan Pacifique Nord	Pacifique	Canada, Japon, Fédération de Russie, République de Corée et États-Unis (5)	Saumon kéta, saumon coho, saumon rose, saumon rouge, saumon quinnat, saumon japonais et truite arc-en-ciel	7

* La Convention sur la coopération dans la zone de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest s'applique à la plupart des ressources halieutiques de l'Atlantique Nord-Ouest, à l'exception du saumon, du thon/makaire, des baleines et des espèces sédentaires. Cependant, elle ne gère officiellement que 11 espèces (et 19 stocks).

Ces défis donnent un élan à l'élaboration de stratégies coopératives d'adaptation pour la bonne intendance responsable des ressources partagées. Par exemple, l'amélioration de la surveillance collaborative et l'intégration de multiples flux de données dans des ensembles de données transfrontaliers en continu peuvent favoriser une gestion plus efficace et préventive, et permettre une meilleure application des ententes maritimes transfrontalières (Pinsky et coll., 2021, 2018; Wendeborg, 2020; Aquorau et coll., 2018; Mills et coll., 2013; Link et coll., 2011; McIlgorm et coll., 2010). Une plus grande réactivité aux régimes de gestion faciliterait de tels développements (Bailey et coll., 2016; Favaro et coll., 2012), comme les initiatives mises en œuvre par le Comité d'évaluation des ressources transfrontalières (CERT), qui réalise et examine des évaluations et des projections des stocks partagés pour appuyer la gestion de la morue, de l'aiglefin et de la limande à queue jaune dans la région frontalière Canada-États-Unis du banc de Georges, dans le golfe du Maine (Palacios Abrantes et coll., 2020b).

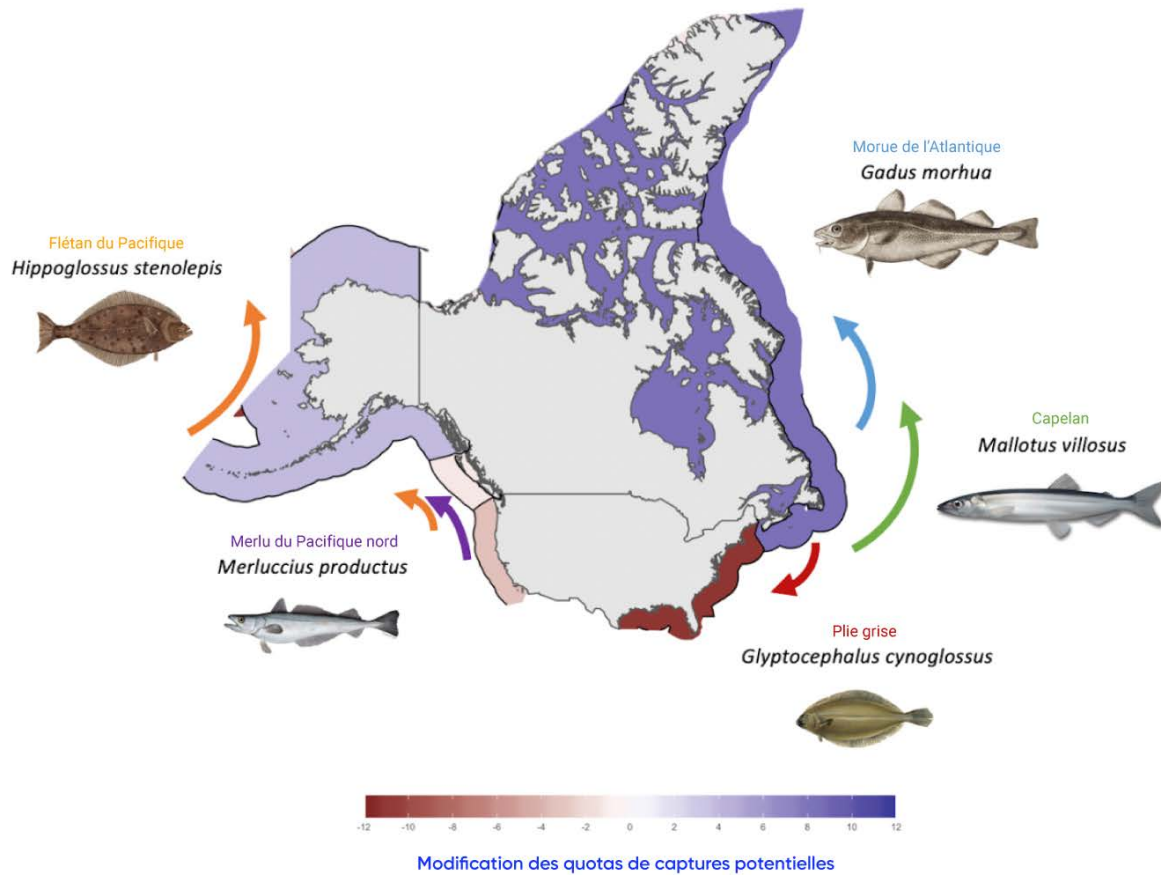


Figure 9.6 : Carte des changements prévus dans la répartition des espèces de poissons représentatives ciblées par le commerce transfrontalier des pêches américaines et canadiennes d'ici 2050 dans un scénario d'émissions élevées, par rapport à 2014. L'échelle de couleur indique les changements prévus en parts de capture dans la zone économique exclusive (rouge = déclin; violet = croissance). Les flèches sur la carte représentent la direction des changements dans la répartition pour ces cinq principales espèces de poissons. Source : Adapté de Cheung et coll., 2016.

Pour être efficaces, les ententes doivent tenir compte des changements dans les normes sociétales (Stoett, 2018), ainsi que de l'importance croissante de l'équité et des droits uniques des peuples autochtones (Campbell, 2015; Dodds et Hemmings, 2015). Diverses stratégies peuvent soutenir l'élaboration d'ententes maritimes transfrontalières en vue d'atteindre les objectifs de manière adaptative tout en cherchant à assurer l'équité. Les principaux outils comprennent les structures d'allocation de permis de pêche qui facilitent l'accès aux différentes pêches, dont les nouvelles pêches, la surveillance continue aux échelles pertinentes au changement, et les limites ou les modes de capture qui prévoient des ajustements de capacité (p. ex. le rachat de permis ou les parts de quota négociables) (Aqorau et coll., 2018; Mills et coll., 2013). Une participation significative des peuples autochtones aux négociations et l'inclusion de leurs connaissances écologiques dans l'élaboration de stratégies plus adaptatives sont également cruciales (Ojea et coll., 2020; Armitage et coll., 2015; Mills et coll., 2015; Aswani et Lauer, 2014). Accroître la capacité des collectivités

autochtones et des groupes d'intervenants d'appliquer de façon indépendante des outils fondés sur les risques est une façon de renforcer le rôle de ces groupes dans la prise de décisions transfrontalières (Le Bris et coll., 2018; Payne et coll., 2017; Mills et coll., 2015).

9.3.3 Ententes relatives à l'eau douce

Comme pour d'autres bassins versants canadiens, les changements dans les quantités de précipitations et d'accumulation de neige, les changements dans le calendrier et la forme des hydrogrammes annuels, les augmentations de la température de l'eau et la fréquence accrue des inondations et des sécheresses (voir le chapitre « [Ressources en eau](#) ») constituent des enjeux importants pour la gestion des eaux transfrontalières. Ces impacts varieront d'un bout à l'autre du pays (voir la figure 9.7) et mettront à l'épreuve les relations de coopération dans le domaine de l'eau, tout en augmentant le besoin de faire des compromis difficiles quant aux utilisations concurrentes de l'eau douce, comme la production d'hydroélectricité, l'irrigation, la lutte contre les inondations, les loisirs, la navigation et la conservation des espèces (Cooley et coll., 2012; Cooley et Gleick, 2011; Hamlet, 2010; Cooley et coll., 2009; Bruce et coll., 2003). Ces utilisations forment la base des aspects liés à la gestion partagée à la frontière Canada-États-Unis, car les changements climatiques affectent les relations hydrologiques entre ces deux pays différemment selon les considérations de gestion partagée qui se trouvent menacées (voir le tableau 9.4). En outre, les effets d'autres facteurs de stress non climatiques comme l'augmentation de la demande en électricité, une mauvaise harmonisation des lois nationales sur la conservation au Canada et aux États-Unis, la pollution industrielle et agricole, les espèces envahissantes et la consommation accrue d'eau seront amplifiés par les changements climatiques, ce qui aura une incidence supplémentaire sur les relations de coopération.

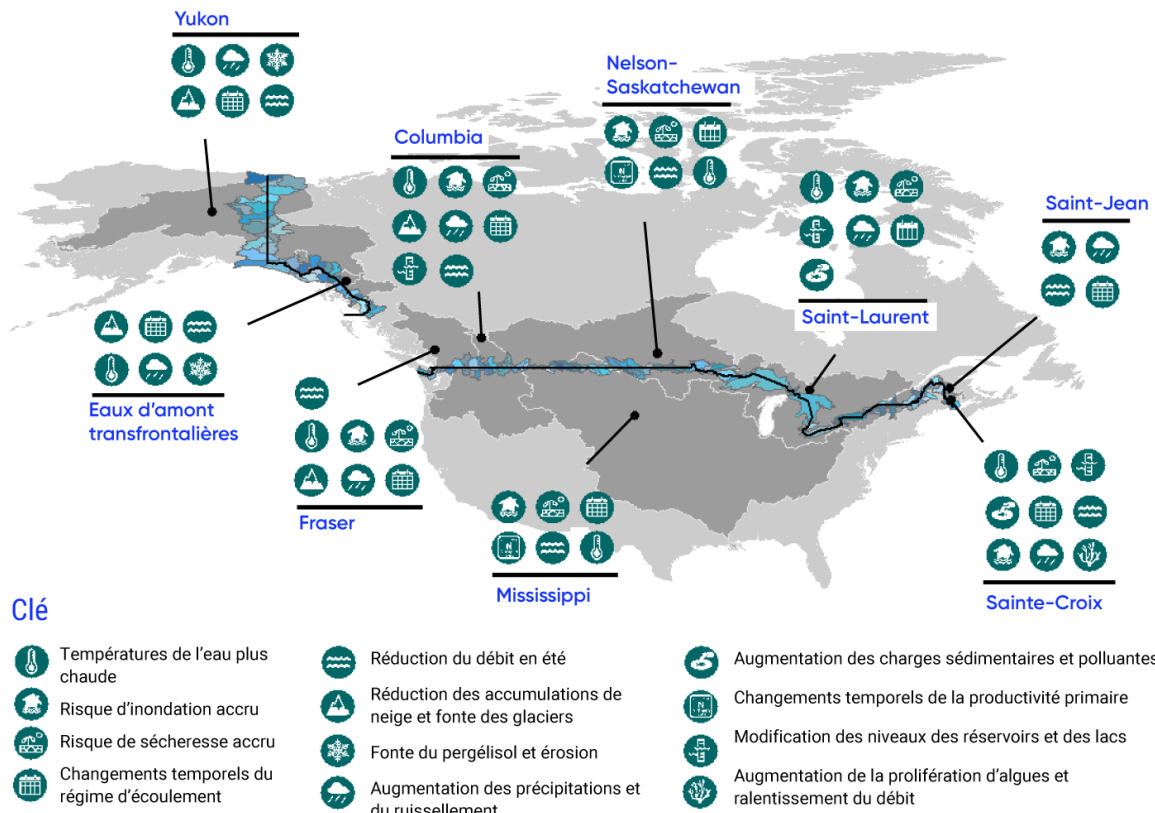








































Figure 9.7 : Impacts projetés des changements climatiques pour les principaux bassins versants partagés entre le Canada et les États-Unis. Sources des données : George, 2019b; Commission mixte internationale, 2017; Fonds mondial pour la nature au Canada, 2017; Bartolai et coll., 2015; Hamlet et coll., 2013; Commission mixte internationale, 2013; Shrestha et coll., 2012; Hamlet, 2010; Mantua et coll., 2010; Commission mixte internationale, 2009; Hamlet et Lettenmaier, 2007; Bruce et coll., 2003; Hamlet et Lettenmaier, 1999.

Tableau 9.4 : Aspects liés à la gestion partagée, facteurs de stress liés aux changements climatiques et principaux bassins versants partagés touchés

ASPECTS LIÉS À LA GESTION PARTAGÉE		FACTEURS DE STRESS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	PRINCIPAUX BASSINS VERSANTS PARTAGÉS TOUCHÉS
	Alimentation en eau potable	   	<ul style="list-style-type: none"> • Fraser • Sainte-Croix
	Gestion des crues	    	<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Fraser • Nelson-Saskatchewan • Saint-Laurent
	Conservation du poisson	         	<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Fraser • Nelson-Saskatchewan • Sainte-Croix • Saint-Laurent • Eaux d'amont transfrontalières • Yukon
	Production d'hydroélectricité	    	<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Saint-Jean • Sainte-Croix • Saint-Laurent
	Irrigation agricole	    	<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Nelson-Saskatchewan • Mississippi
	Navigation et transport maritime	    	<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Saint-Laurent

ASPECTS LIÉS À LA GESTION PARTAGÉE		FACTEURS DE STRESS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	PRINCIPAUX BASSINS VERSANTS PARTAGÉS TOUCHÉS
	Occasions de navigation récréative		<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Saint-Laurent
	Gestion de la qualité de l'eau		<ul style="list-style-type: none"> • Columbia • Fraser • Nelson-Saskatchewan • Saint-Jean • Saint-Laurent • Eaux d'amont transfrontalières
Clé			
	Températures de l'eau plus chaude		
	Risque d'inondation accru		
	Risque de sécheresse accru		
	Augmentation des précipitations et du ruissellement		

Sources : Commission mixte internationale, 2020; Province de la Colombie-Britannique et État de l'Alaska, 2015; Canada et États-Unis, 2013; Province de la Colombie-Britannique et État du Montana, 2010; Norman et Bakker, 2005; État de l'Illinois et coll., 2005; Commission des Grands Lacs, 1994; Province de la Colombie-Britannique et État de Washington, 1992; Canada et États-Unis, 1985; Province de l'Ontario et coll., 1985; Canada et États-Unis, 1964; Canada et États-Unis, 1954; Canada et États-Unis, 1952; Canada et États-Unis, 1950; Canada et États-Unis, 1932; Canada et États-Unis, 1925; Grande-Bretagne et États-Unis, 1909.

La gouvernance de l'eau douce à la frontière Canada–États-Unis est définie par de nombreuses ententes transfrontalières aux niveaux fédéral, provincial et des états (voir le tableau 9.5). Plusieurs de ces ententes ont été signées avant que les changements climatiques ne soient reconnus et demeurent fondés sur des hypothèses de stationnarité (p. ex. le Traité des eaux limitrophes, le Traité du fleuve Columbia et la Convention sur les pêcheries des Grands Lacs).

Tableau 9.5 : Ententes transfrontalières relatives à l'eau douce qui traverse la frontière Canada–États-Unis et principaux plans d'eau

PRINCIPAL BASSIN VERSANT	ENTENTES	PRINCIPAUX PLANS D'EAU
Yukon	<ul style="list-style-type: none">• Traité sur le saumon du Pacifique 1985 (fédéral)• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Fleuve Yukon
Eaux d'amont transfrontalières	<ul style="list-style-type: none">• Traité sur le saumon du Pacifique 1985 (fédéral)• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)• Protocole d'entente et de coopération entre la Colombie-Britannique et l'Alaska 2015 (province/État)	<ul style="list-style-type: none">• Fleuve Stikine• Rivière Alsek• Rivière Chilkat• Rivière Taku• Rivière Whiting• Rivière Unuk
Fraser	<ul style="list-style-type: none">• Traité sur le saumon du Pacifique 1985 (fédéral)• BC-Washington Environmental Cooperation Agreement 1992 (province/État)	<ul style="list-style-type: none">• Fleuve Fraser• Aquifère Abbotsford-Sumas• Rivière Nooksak
Skagit	<ul style="list-style-type: none">• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Rivière Skagit



PRINCIPAL BASSIN VERSANT	ENTENTES	PRINCIPAUX PLANS D'EAU
Columbia	<ul style="list-style-type: none">• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)• Traité du fleuve Columbia 1964 (fédéral)• Protocole d'entente et de coopération en matière de protection de l'environnement, d'action climatique et d'énergie pour la rivière Flathead, 2010 (province/État)• BC-Washington Environmental Cooperation Agreement 1992 (province/État)	<ul style="list-style-type: none">• Fleuve Columbia• Fleuve Kootenay• Lac Osoyoos• Rivière Flathead
Nelson-Saskatchewan	<ul style="list-style-type: none">• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Rivière Souris• Rivière Rouge
Mississippi	<ul style="list-style-type: none">• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Rivière Saint Mary• Rivière Milk• Poplar River
Saint-Laurent	<ul style="list-style-type: none">• Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, 2012 (fédéral)• Convention sur les pêcheries des Grands Lacs, 1954 (fédérale)• Convention et Protocole sur le lac des Bois 1925, 1979 (fédéral)• Entente de projet sur la voie maritime du Saint-Laurent 1952, 1954 (fédérale)• Traité de la dérivation des eaux de la rivière Niagara, 1950 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Grands Lacs• Fleuve Saint-Laurent• Lac des Bois• Rivière à la Pluie• Lac Champlain• Rivière Richelieu• Lac Memphrémagog• Rivière Niagara

PRINCIPAL BASSIN VERSANT	ENTENTES	PRINCIPAUX PLANS D'EAU
Saint-Laurent (continué)	<ul style="list-style-type: none">• Traité de la Voie navigable en eau profonde du Saint-Laurent, 1932 (fédéral)• Charte des Grands Lacs, 1985 (province/État)• Tableau des écosystèmes pour le bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent 1994 (province/état)• Entente de coopération environnementale du lac Memphrémagog 1989, 2003 (province/État)• Entente sur les ressources durables en eau du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent 2005 (province/État)	
Saint-Jean	<ul style="list-style-type: none">• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Rivière Saint-Jean
Sainte-Croix	<ul style="list-style-type: none">• Traité des eaux limitrophes 1909 (fédéral)	<ul style="list-style-type: none">• Fleuve Sainte-Croix

Sources : Commission mixte internationale, 2020; Province de la Colombie-Britannique et État de l'Alaska, 2015; Canada et États-Unis, 2013; Province de la Colombie-Britannique et État du Montana, 2010; Norman et Bakker, 2005; État de l'Illinois et coll., 2005; Commission des Grands Lacs, 1994; Province de la Colombie-Britannique et État de Washington, 1992; Canada et États-Unis, 1985; Province de l'Ontario et coll., 1985; Canada et États-Unis, 1964; Canada et États-Unis, 1954; Canada et États-Unis, 1952; Canada et États-Unis, 1950; Canada et États-Unis, 1932; Canada et États-Unis, 1925; Grande-Bretagne et États-Unis, 1909.

D'autres pays peuvent fournir des renseignements utiles pour mettre à jour les ententes entre le Canada et les États-Unis sur l'eau douce. En 2015, dans le cadre de la Convention de l'eau de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, le Bélarus, la Lituanie et la Russie ont créé conjointement l'un des premiers cadres de travail sur l'adaptation aux changements climatiques dans un bassin fluvial transfrontalier – le cadre de travail stratégique sur l'adaptation aux changements climatiques pour le bassin du fleuve Niémen (Korneev et coll., 2015). Le principal facteur de stress environnemental du système hydrologique du Niémen est la pollution industrielle. À moins que des mesures d'adaptation ne soient mises en place, les polluants industriels deviendront plus concentrés à mesure que les changements climatiques provoqueront une diminution du ruissellement. Le cadre de travail établit une situation de référence pour la surveillance de l'eau à l'échelle du bassin et comprend un ensemble commun de projections spatialement explicites d'impact et de risques. L'entente est étroitement harmonisée avec les principes énoncés dans la directive-cadre sur l'eau de l'UE, avec des caractéristiques d'adaptation, y compris des mesures de rendement « à l'épreuve du

climat » pour la surveillance, capables de répondre à la non-stationnarité (p. ex. des mesures proportionnelles plutôt que volumétriques); une approche cyclique avec des révisions périodiques pour tenir compte des nouvelles avancées scientifiques et technologiques ainsi que des nouvelles incertitudes, et pour permettre un ajustement à mesure que les incertitudes existantes sont résolues; la création d'une commission de bassin versant avec une représentation à multiples intervenants capable de tenir compte des intérêts et des priorités en changement des parties touchées au fur et à mesure que les impacts des changements climatiques se font sentir; et des liens politiques cohérents aux niveaux local, national et international qui permettent aux décideurs d'être plus agiles, réduisant ainsi les goulots d'étranglement découlant d'une mauvaise harmonisation des politiques (Commission européenne, 2009).

Le tableau 9.6 répertorie les mesures d'adaptation mises en œuvre dans les bassins versants transfrontaliers à l'échelle mondiale et les compare aux mesures appliquées dans les ententes clés sur l'eau douce entre le Canada et les États-Unis. À l'exception de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (AQEGL), pas plus du tiers de ces mesures sont actuellement appliquées aux grands bassins versants partagés du Canada. La Commission mixte internationale (CMI) Canada–États-Unis a élaboré un cadre de travail général non contraignant pour ses dix-sept conseils et comités, qui établit un processus de planification de l'adaptation aux changements climatiques, de partage des connaissances et d'utilisation de la gestion adaptative (Commission mixte internationale, 2018; Bernstein et coll., 2017). L'AQEGL a été mis à jour en 2012 et est actuellement le traité sur l'eau douce qui correspond le mieux au climat canadien. L'accord comprend, de manière explicite, l'obligation d'appliquer les principes de gestion adaptative en réponse aux changements climatiques, mais sa mise en œuvre a été lente. Il n'existe toujours pas de stratégie élaborée conjointement à l'échelle du bassin pour traiter les impacts des changements climatiques (Commission mixte internationale, 2017).

Tableau 9.6 : Pratiques adaptatives appliquées dans les ententes transfrontalières sur l'eau douce (à l'échelle mondiale) par rapport aux pratiques courantes en vertu d'ententes clés sur l'eau douce entre le Canada et les États-Unis

PRATIQUES D'ADAPTATION TRANSFRONTALIÈRES DANS LES BASSINS (À L'ÉCHELLE MONDIALE)	TRAITÉ DES EAUX LIMITOPHES	INITIATIVES DE LA CMI* EN VERTU DU TRAITÉ DES EAUX	TRAITÉ SUR LE SAUMON DU PACIFIQUE	TRAITÉ DU FLEUVE COLUMBIA	ACCORD RELATIF À LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LES GRANDS LACS	CONVENTION SUR LES PÊCHERIES DES GRANDS LACS
Environnement						
Cibles conjointes de qualité de l'habitat (p. ex. débits écologiques)						
Normes de qualité de l'eau et règles de fonctionnement souples (p. ex. allocations proportionnelles et non volumétriques)						
Mesures de rendement « à l'épreuve du climat » pour une surveillance conjointe						
Coordination de la gestion des inondations, des sécheresses et de la pollution coordonnée et des systèmes d'alerte précoce						
Unités de gestion écologique (p. ex. bassin fluvial)						
Gestion adaptative intégrée (basée sur des systèmes, y compris les systèmes marins; tests d'hypothèses pour répondre aux incertitudes)						
Modélisation, analyse et recherche coordonnées sur les changements climatiques						

PRATIQUES D'ADAPTATION
TRANSFRONTALIÈRES DANS LES BASSINS
(À L'ÉCHELLE MONDIALE)

TRAITÉ DES EAUX
LIMITOPHES

INITIATIVES DE LA CMI*
EN VERTU DU TRAITÉ
DES EAUX

TRAITÉ SUR LE SAUMON
DU PACIFIQUE

TRAITÉ DU FLEUVE
COLUMBIA

ACCORD RELATIF À LA
QUALITÉ DE L'EAU DANS
LES GRANDS LACS

CONVENTION SUR
LES PÊCHERIES DES
GRANDS LACS

Politiques ou de gouvernance




Ratification des politiques internationales qui régissent la gestion de l'eau (p. ex. la Convention sur les eaux) par le gouvernement fédéral						
Obligations d'adaptation aux changements climatiques explicitement intégrées dans l'entente						
Autorisation de conclure des ententes supplémentaires						
Mécanismes de résolution des litiges						
Organisations formelles de bassin fluvial qui incluent ou consultent de multiples groupes d'intérêt						
Engagement explicite à élaborer un plan de gestion ou un cadre de travail conjoint d'adaptation aux changements climatiques						
Harmonisation des politiques au-delà des frontières et des niveaux de gouvernement						
Révision/examen périodique fréquent (p. ex. 10 à 20 ans) de l'entente						
Partage ouvert des données entre plusieurs groupes d'intérêt						

Étude de cas 9.3 : Moderniser le Traité Canada–États-Unis du fleuve Columbia pour tenir compte des changements climatiques

Le Traité Canada–États-Unis du fleuve Columbia (TFC) de 1964 établit les règles régissant les utilisations et les responsabilités coopératives en matière de production d'hydroélectricité et de gestion des crues (Canada et États-Unis, 1964). L'entente a déjà été un exemple de coopération internationale dans le domaine de l'eau en raison de son respect du principe « d'utilisation équitable » par le biais d'une répartition des avantages de l'énergie hydroélectrique à parts égales (Paisley, 2002). Les caractéristiques adaptatives comprennent également la création annuelle de deux plans d'exploitation couvrant différents horizons de planification (année à venir et six ans après) et l'utilisation d'ententes secondaires. Les activités récréatives, la navigation, l'irrigation agricole et le patrimoine culturel autochtone sont d'autres valeurs communes au bassin (Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2013). L'entente est maintenant obsolète parce qu'elle ne fait aucune mention explicite de ces autres valeurs, suppose une certaine stationnarité et ne prévoit aucun mécanisme permettant aux parties intéressées d'être incluses dans le processus décisionnel. Les projections sur les changements climatiques montrent une contribution proportionnelle croissante des débits du fleuve Columbia à la partie canadienne du bassin, ce qui augmentera probablement la demande américaine pour la gestion de l'eau au Canada (voir la figure 9.8; Hamlet et coll., 2013; Hamlet, 2010; Mantua et coll., 2010; Hamlet et Lettenmaier, 2007; Hamlet et Lettenmaier, 1999). Dans le but de mieux refléter les valeurs modernes, des renégociations du TFC sont en cours. Dans le cadre de ces négociations, les fonctions écosystémiques sont prises en compte, les projections modélisées sur les changements climatiques jouent un certain rôle et, dans un geste sans précédent pour les négociations internationales canadiennes, les collectivités autochtones ont été incluses à titre d'observateurs à la table de négociation (Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2019; Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2014; Entité américaine au traité sur le fleuve Columbia, 2013). La mesure dans laquelle le TFC va rétablir son statut de traité exemplaire grâce à l'adoption de principes d'adaptation accrus reste à voir, mais la fenêtre politique actuelle représente une occasion de reformuler une entente historique sur l'eau dans un contexte d'incertitudes concernant le climat futur.

Classification des bassins versants

Rapport entre l'équivalent eau neige (EEN) et les précipitations d'octobre à mars

-  < 0,1 zone pluie dominante
-  0,1–0,4 zone transitionnelle
-  > 0,4 zone neige dominante

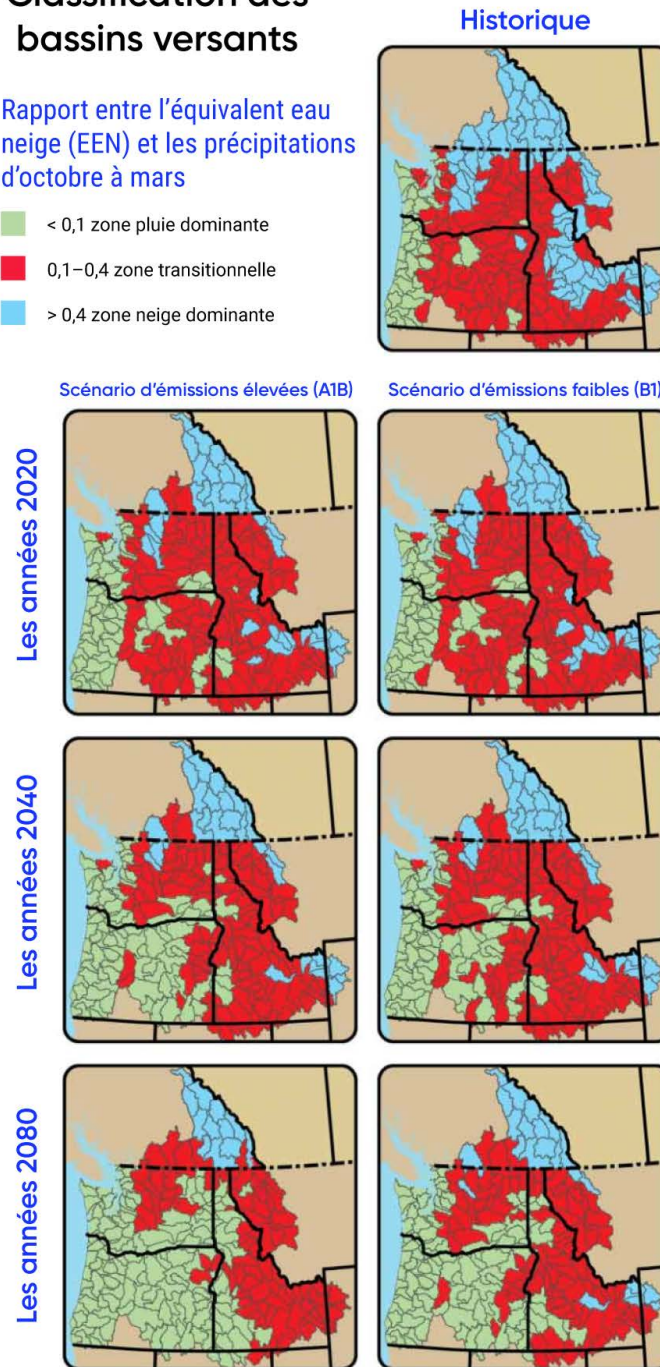


Figure 9.8 : Classifications historiques et projetées pour le bassin versant du fleuve Columbia, basées sur les scénarios d'émissions mondiales (le scénario A1B d'émissions relativement élevées et le scénario B1 de faibles émissions) pour les années 2020, 2040 et 2080. Au fur et à mesure que les changements climatiques progresseront, le Canada devrait posséder 50 % de la capacité total du réservoir. Le Canada devrait également avoir une portion de plus en plus dominante de l'eau naturelle stockée sous forme de neige accumulée.

Source : Adapté de Hamlet et coll., 2013.

9.4 Les changements climatiques présentent des risques et des occasions pour le commerce international

Le Canada dépend du commerce international et bénéficiera de plus en plus des effets économiques découlant des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques, et de l'adaptation ailleurs dans le monde, surtout dans les pays avec lesquels il entretient de solides liens commerciaux.

L'économie mixte du Canada dépend du commerce comme source de richesse et pour satisfaire les besoins des consommateurs. Les impacts des changements climatiques partout dans le monde, comme l'élévation du niveau de la mer et les phénomènes extrêmes plus intenses, ainsi que les mesures prises en réponse à ces impacts modifieront les modèles d'échanges commerciaux à l'échelle mondiale, ce qui aura des conséquences sur les entreprises, les consommateurs et l'économie du Canada. Parmi les impacts directs et indirects des changements climatiques, on remarque les perturbations des réseaux d'approvisionnement et de distribution, les changements dans la disponibilité et le prix des biens échangés, ainsi que la création de marchés mondiaux pour de nouvelles solutions d'adaptation. Les perturbations des chaînes d'approvisionnement liées aux conditions météorologiques et les hausses de prix à court terme des denrées de base accroissent la nécessité pour les entreprises et les gouvernements canadiens d'évaluer les risques et les occasions que présenteront les changements climatiques pour le commerce mondial, y compris les effets négatifs des ajustements à long terme des tendances commerciales pour les collectivités en deçà et au-delà des frontières du Canada. Il existe peu de recherches publiées sur ces impacts indirects des changements climatiques ou sur les évaluations des mesures prises par les entreprises et les gouvernements du Canada pour comprendre et gérer les risques et les occasions qui en découlent.

9.4.1 Introduction

Le Canada compte sur le commerce pour son bien-être économique et social. Plus de la moitié du produit intérieur brut (PIB) du pays provient de l'exportation et de l'importation de biens et de services sur le marché mondial (Affaires mondiales Canada, 2019a). En 2018, le Canada a exporté pour 706 milliards de dollars et importé pour 753 milliards de dollars en biens et en services (Affaires mondiales Canada, 2019a), les biens représentant un peu plus de 80 % de la valeur de reprise. Cinq partenaires commerciaux ont reçu 90 % des exportations du Canada et ont fourni plus de 85 % des biens importés, dont la valeur de reprise des biens de consommation, des produits miniers et énergétiques était particulièrement importante, en dollars (voir la figure 9.9). Bien que l'Ontario, l'Alberta et le Québec aient compté pour près de 80 % des marchandises exportées en 2017, les exportations provenaient de toutes les provinces et de tous les territoires (Affaires mondiales Canada, 2018). L'Ontario, le Québec et la Colombie-Britannique ont reçu plus de 80 % des marchandises importées en 2017. Chaque année, des milliers d'entreprises canadiennes s'engagent dans le commerce international, les petites et moyennes entreprises représentant plus de 90 % de l'activité

commerciale, mesurée d'après le nombre d'organisations. En dollars, les grandes entreprises (plus de 500 employés) représentent plus de 50 % de la valeur commerciale (Statistique Canada, 2018a, b).

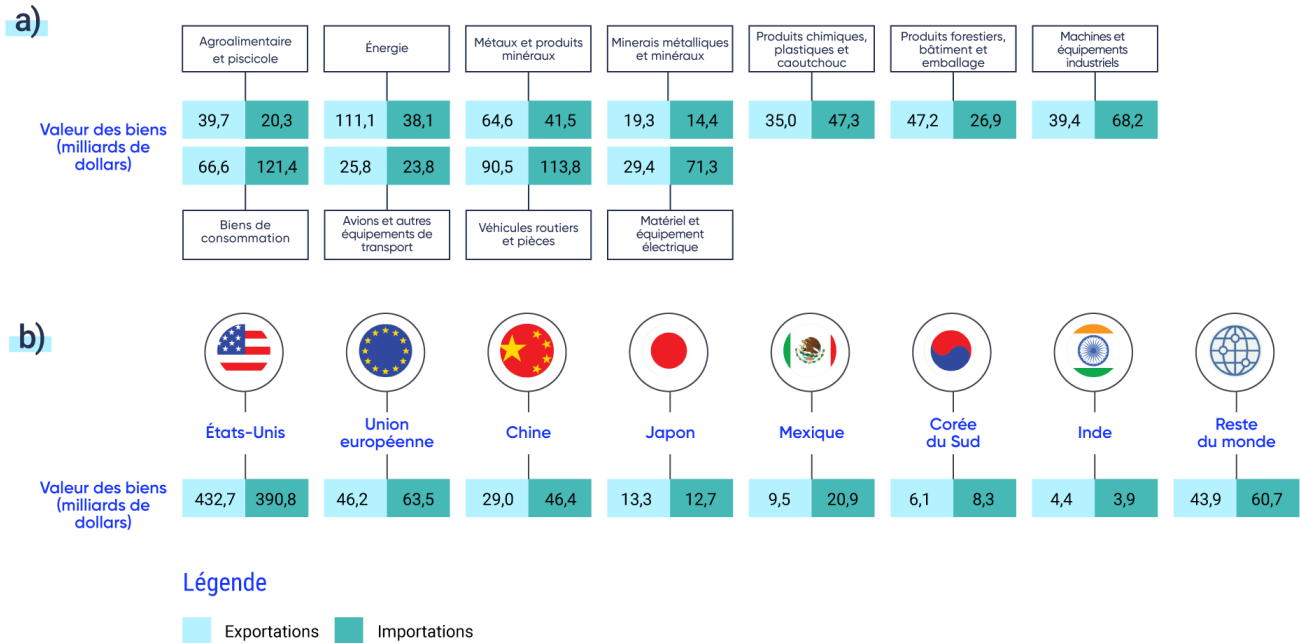


Figure 9.9 : Rendement commercial du Canada en 2018. a) Valeurs des exportations (bleu pâle) et des importations (vert) de marchandises, par secteur. b) Valeurs des exportations (bleu pâle) et des importations (vert) de marchandises en milliards de dollars, par partenaire commercial ou région commerciale. Source : Adapté d'Affaires mondiales Canada, 2019a.

Les impacts des changements climatiques ressentis ailleurs dans le monde, comme l'augmentation des températures, l'élévation du niveau de la mer et les phénomènes extrêmes plus intenses, ont des effets en cascade sur l'économie et la population du Canada par le truchement du commerce international. Tel qu'il a été décrit ailleurs dans la présente évaluation, les impacts des changements climatiques à l'intérieur des frontières du Canada modifient les risques et les occasions pour les entreprises canadiennes, et leurs conséquences ont une incidence sur l'économie à l'échelle mondiale (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) » et le chapitre « [Impact sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »). Les entreprises étrangères en concurrence avec les producteurs canadiens sont exposées de façon semblable aux risques et aux occasions liés aux changements climatiques. Les facteurs connexes à l'offre et à la demande entrent en jeu, les bénéfiques ou les coûts étant atténués par la capacité d'adaptation à l'échelle de l'entreprise, du secteur ou du pays (voir le tableau 9.7).

Tableau 9.7 : Exemples de risques et d'occasions liés aux changements climatiques sur l'offre et la demande des entreprises

CAPACITÉ D'ADAPTATION	ZONE D'EXPOSITION		EXEMPLES DE RISQUES ET D'OCCASIONS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES
Capacité de s'adapter en fonction de la taille, des ressources, de l'emplacement géographique, des cadres stratégiques et réglementaires, de l'information et des partenariats	Offre	Infrastructure, biens d'équipement et inventaire	<ul style="list-style-type: none">• Pertes et dommages causés par des phénomènes extrêmes• Pertes d'infrastructures côtières découlant de l'élévation du niveau de la mer• Augmentation des coûts de reconstruction et d'adaptation
		Productivité des employés et de la main-d'œuvre	<ul style="list-style-type: none">• Perte d'heures travaillées en raison de catastrophes, de perturbations des infrastructures, d'un accès impossible au lieu de travail ainsi que d'évacuations temporaires ou permanentes• Perte d'heures travaillées (ou travail ralenti) en raison d'une augmentation du stress thermique
		Chaînes d'approvisionnement et réseaux de distribution	<ul style="list-style-type: none">• Pénuries d'intrants (énergie, eau, nourriture, etc.) et perturbations des chaînes d'approvisionnement• Interruptions de la livraison des biens et des services aux marchés

CAPACITÉ D'ADAPTATION	ZONE D'EXPOSITION		EXEMPLES DE RISQUES ET D'OCCASIONS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES
Capacité de s'adapter en fonction de la taille, des ressources, de l'emplacement géographique, des cadres stratégiques et réglementaires, de l'information et des partenariats (continué)	Offre	Produits et services	<ul style="list-style-type: none">• Changements dans les coûts de production et la prestation des services (p. ex. augmentation du coût des intrants, augmentation des coûts de climatisation, augmentation des primes d'assurance)
	Demande	Consommation/achat	<ul style="list-style-type: none">• Changements de la quantité et la qualité des biens et des services ainsi que l'emplacement de demande à leur égard
		Investissements	<ul style="list-style-type: none">• Changements dans les flux de capitaux causés par l'incertitude des risques climatiques matériels directs, indirects et en cascade

Sources : Adapté de Batten, 2018; Surminski et coll., 2018

Dans le marché mondial, les pays et les entreprises peuvent se spécialiser en produisant des biens et des services pour lesquels ils ont un manque à gagner par rapport à leurs homologues étrangers, tout en important d'autres biens et services. Ce principe, d'avantage comparatif, est un moteur clé du commerce international (Bruce et Haites, 2008). Avec l'essor de nouvelles économies, les flux commerciaux et les centres géographiques de commerce devraient changer au cours des prochaines décennies (Dellink et coll., 2017). Les producteurs du Canada atlantique, par exemple, établissent des liens avec les marchés asiatiques émergents par le canal de Suez (Rapaport et coll., 2017). Les changements climatiques ont pour effet de modifier l'avantage comparatif des pays (Costinot et coll., 2014; Bruce et Haites, 2008), ce qui signifie que les évolutions prévues dans les modèles commerciaux mondiaux pourraient ne pas se réaliser (Dellink et coll., 2017).

Cette section traite des risques et des occasions pour le Canada en regard des perturbations induites par les changements climatiques sur les chaînes d'approvisionnement mondiales et des changements que ces perturbations apportent à l'avantage comparatif dans un marché mondial. Elle explore également l'interaction entre l'adaptation aux changements climatiques et le commerce international.

9.4.2 Risques liés au commerce et aux changements climatiques

Les impacts des changements climatiques peuvent avoir des conséquences économiques pour le Canada en perturbant les réseaux d'approvisionnement et de distribution qui dépendent d'infrastructures commerciales vulnérables. Le bon fonctionnement des infrastructures de transport est essentiel au commerce. À l'échelle mondiale, les opérations maritimes et portuaires représentent environ 80 % du volume commercial et 70 % de sa valeur (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, 2018). Le système de transport du Canada a déplacé pour 1,107 billion de dollars de biens en 2017 (Transports Canada, 2017), alors que le port de la région métropolitaine de Vancouver gérait une croissance commerciale de 15 % en valeur de reprise, avec plus de 160 pays (Nyland et Nodelman, 2017). Les autorités portuaires et les exploitants internationaux et canadiens affirment que les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes entraînent déjà des retards d'expédition et des dommages physiques aux marchandises expédiées (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, 2017; Ng et coll., 2016). Les conditions climatiques en changement et les conditions météorologiques extrêmes ont de nombreuses répercussions sur ports maritimes et les infrastructures commerciales terrestres (voir le tableau 9.8), y compris des perturbations qui augmentent le coût du commerce international et provoquent des réacheminements lorsque les entreprises optent pour des solutions de rechange plus fiables d'un même mode de transport ou d'autres (Dellink et coll., 2017). Le commerce alimentaire mondial est particulièrement menacé en raison de la dépendance croissante envers un petit nombre de points de passage maritimes, côtiers et intérieurs obligés pour acheminer les denrées alimentaires et les engrais (Bailey et Wellesley, 2017).

Tableau 9.8: Exemples de risques liés aux changements climatiques pour les infrastructures commerciales

RISQUE CLIMATIQUE	MODE DE TRANSPORT	EXEMPLES D'IMPACTS DIRECTS	CONSÉQUENCES SUR LES INFRASTRUCTURES COMMERCIALES
Augmentation de la température et du rayonnement solaire	Route et chemin de fer	<ul style="list-style-type: none">• Déformation des rails• Fissures dans la chaussée• Perte d'étanchéité causant des nids-de-poule• Durée de vie réduite de l'asphalte	<ul style="list-style-type: none">• Restrictions de vitesse pour éviter les déraillements• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance



RISQUE CLIMATIQUE	MODE DE TRANSPORT	EXEMPLES D'IMPACTS DIRECTS	CONSÉQUENCES SUR LES INFRASTRUCTURES COMMERCIALES
Augmentation de la température et du rayonnement solaire (continué)	Aviation	<ul style="list-style-type: none">• Durée de vie réduite de l'asphalte• Diminution de la capacité de transport aérien	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance• Nécessité de construire des pistes plus longues pour compenser la diminution de la capacité de transport aérien
	Transport maritime	<ul style="list-style-type: none">• Capacité de réfrigération réduite• Ouverture/expansion des routes de navigation dans l'Arctique en raison de la diminution de la glace marine	<ul style="list-style-type: none">• Besoin accru de refroidissement des terminaux et du fret• Réduction des distances et du temps de navigation dans l'Arctique, mais des aides supplémentaires sont nécessaires à la navigation• Coûts d'assurance plus élevés pour la navigation dans l'Arctique
Augmentation des précipitations, des inondations dans les terres et de l'intensité/durée du brouillard	Route et chemin de fer	<ul style="list-style-type: none">• Inondations• Affouillement des ponts	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance• Réacheminement pour éviter les routes et les ponts affectés

RISQUE CLIMATIQUE	MODE DE TRANSPORT	EXEMPLES D'IMPACTS DIRECTS	CONSÉQUENCES SUR LES INFRASTRUCTURES COMMERCIALES
Augmentation des précipitations, des inondations dans les terres et de l'intensité/durée du brouillard (continué)	Aviation	<ul style="list-style-type: none">• Inondation des pistes et des routes d'accès• Installations endommagées• Visibilité réduite	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance
	Transport maritime	<ul style="list-style-type: none">• Dommages aux infrastructures terrestres, au fret et à l'équipement• Capacités réduites de chargement et de déchargement des cargaisons dans les ports• Augmentation des taux de détérioration des actifs (p. ex. corrosion)• Visibilité réduite pour les navires et les opérations du terminal	<ul style="list-style-type: none">• Risques de retard• Augmentation des coûts de construction et d'entretien
Élévation du niveau de la mer et ondes de tempête	Route et chemin de fer	<ul style="list-style-type: none">• Inondation temporaire ou permanente	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance• Risques de retard
	Aviation	<ul style="list-style-type: none">• Inondation temporaire ou permanente	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance• Réinstallation

RISQUE CLIMATIQUE	MODE DE TRANSPORT	EXEMPLES D'IMPACTS DIRECTS	CONSÉQUENCES SUR LES INFRASTRUCTURES COMMERCIALES
Élévation du niveau de la mer et ondes de tempête (continué)	Transport maritime	<ul style="list-style-type: none">• Réduction de la hauteur de dégagement sous les ponts des voies navigables• Dommages causés aux infrastructures portuaires• Augmentation des taux de détérioration des actifs (p. ex. corrosion)	<ul style="list-style-type: none">• Besoin d'un nouveau concept de navire• Nécessité de reconfigurer les zones opérationnelles• Augmentation des coûts d'entretien et de réparation des installations portuaires
Conditions météorologiques extrêmes (p. ex. vents violents, tempêtes)	Route et chemin de fer	<ul style="list-style-type: none">• Perturbation de l'infrastructure électronique de transport (p. ex. la signalisation)	<ul style="list-style-type: none">• Perturbation de l'exploitation• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance
	Aviation	<ul style="list-style-type: none">• Perturbation de l'infrastructure électronique de transport (p. ex. la signalisation)	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance• Risques de retard
	Transport maritime	<ul style="list-style-type: none">• Fermeture temporaire des ports• Conditions de navigation aggravées• Perturbation de l'infrastructure électronique de transport (p. ex. la signalisation)	<ul style="list-style-type: none">• Risques de retard• Augmentation des coûts d'entretien et d'assurance

Sources : Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, 2017; Dellink et coll., 2017

Bien que des impacts directs sur le commerce international tels que ceux-ci se produiront et s'intensifieront sans doute avec les changements climatiques, leurs conséquences restent incertaines. Les analyses statistiques de l'activité commerciale bilatérale à l'échelle mondiale montrent que la hausse des températures et les catastrophes liées aux changements climatiques réduisent les flux commerciaux, en partie en raison de l'augmentation des coûts de transport (Dallmann, 2019; Oh, 2017). La distance entre les partenaires commerciaux, le statut socio-économique de chaque pays et la force des institutions donnent forme à la vulnérabilité. Une étude mondiale montre que la hausse du niveau de la mer, conforme avec un scénario d'émissions mondiales élevées, diminuera le rendement du transport maritime mondial d'ici 2050 en termes de capacité de manutention du fret, réduisant les exportations et le bien-être économique dans les 13 régions modélisées (Chatzivasileiadis et coll., 2016). Une autre étude suggère que les perturbations de l'infrastructure commerciale dues aux phénomènes climatiques d'ici 2060 pourraient avoir des conséquences économiques majeures dans certaines régions, mais ces conséquences pourraient ne pas être aussi prononcées que les ajustements de prix et de production induits par les impacts climatiques (Dellink et coll., 2017). Les incertitudes fondamentales dans l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'infrastructure commerciale comprennent la viabilité du transport maritime dans l'Arctique, la résilience des infrastructures commerciales nouvellement construites et existantes et le niveau de préparation des exploitants (The Economist, 2020; l'Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation, 2018; Becker et coll., 2017; Dellink et coll., 2017; Chatzivasileiadis et coll., 2016). L'infrastructure de transport du Canada, y compris l'infrastructure commerciale (la voie maritime des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, le Port de Vancouver et le Port Saint John), est vulnérable aux perturbations et aux dommages liés aux changements climatiques, et les efforts visant à comprendre et à gérer les impacts futurs en sont encore aux stades préliminaires (Palko, 2017).

Les impacts indirects des changements climatiques sur le commerce comprennent les variations de la disponibilité et des prix des denrées alimentaires et des matières premières, du bois d'œuvre, des métaux et d'autres biens et services de base sur le marché mondial. Le commerce international comprend un réseau de chaînes d'approvisionnement mondiales de plus en plus complexes et interdépendantes, de sorte que les perturbations de la production provoquées par les changements climatiques pourraient avoir des effets économiques sur l'ensemble des secteurs et des régions géographiques à court et à long terme (Adams et coll., 2020; Dellink et coll., 2017; Wenz et Leverman, 2016). En ce qui concerne l'offre, les principaux facteurs de risque sont l'exposition aux impacts des changements climatiques et le degré de concentration des fournisseurs (Gledhill et coll., s.d.). Le Canada figure parmi les cinq principaux fournisseurs mondiaux de blé, d'engrais, de pétrole et de minerais de métaux, et parmi les dix plus importants fournisseurs de maïs (Bailey et Wellesley, 2017; Gledhill et coll., s.d.). En ce qui a trait à la demande, la dépendance et la capacité de compenser sur les marchés locaux sont parmi les caractéristiques qui préparent la vulnérabilité aux chocs (d'Amour et coll., 2016; Wenz et Leverman, 2016). Les perturbations climatiques de la culture du blé, du maïs, du riz et du soja (appelés produits agricoles ou denrées alimentaires de base) pour les principaux fournisseurs peuvent avoir une incidence sur les prix mondiaux. Les facteurs connexes liés à l'offre et à la demande interagissent de manière complexe. Par exemple, les conditions de sécheresse et les vagues de chaleur de 2010 et de 2011 en Russie et dans d'autres régions d'approvisionnement ont entraîné une réduction des rendements du blé et de la production alimentaire mondiale. Cette situation, combinée aux réponses du marché et des politiques (p. ex. les interdictions d'exportation), a contribué à une hausse des prix du blé à l'échelle mondiale, ainsi qu'à de l'insécurité alimentaire et des troubles sociaux au Moyen-Orient (voir l'encadré 9.2; Challinor et coll., 2017; d'Amour et coll., 2016; Coulibaly, 2013). Contrairement aux

denrées alimentaires de base, les approvisionnements énergétiques et miniers sont plus diversifiés et les perturbations sont plus susceptibles d'être causées par des facteurs non climatiques, comme la disponibilité des ressources, les avancées technologiques et la politique (Goldstein et coll., 2019; Gledhill, s.d.). La pandémie mondiale de COVID-19 met en évidence la vulnérabilité des secteurs manufacturiers canadiens aux perturbations des chaînes d'approvisionnement internationales, en raison de leur dépendance à l'égard des fournisseurs étrangers pour les intrants et les ventes à l'étranger (Affaires mondiales Canada, 2020).

Encadré 9.2 : Climat, flambée du prix des denrées alimentaires et impacts sur le marché intérieur

Le prix des aliments de base ou des produits de base (céréales, oléagineux, huiles végétales, viande, fruits de mer, sucre et fruits) peut fluctuer brusquement. Au cours des 40 dernières années, il y a eu cinq périodes de volatilité des prix. Au lendemain des flambées de prix, les marchés s'ajustent et les prix retournent généralement aux niveaux antérieurs (Trostle, 2011). Toutefois, la flambée des prix des aliments – même à court terme – et les nouveaux plateaux de prix ont des impacts sociaux. Les brusques hausses de prix des produits de base sont particulièrement préoccupantes pour les pays en développement qui dépendent des denrées alimentaires importées pour s'alimenter adéquatement. Les pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, par exemple, dépendent fortement du blé importé et le régime alimentaire des consommateurs de ces pays dépend de son approvisionnement constant (d'Amour et coll., 2016). Une baisse des stocks mondiaux de matières premières combinée à des prix plus élevés peut excéder la capacité financière d'un pays à importer les denrées alimentaires nécessaires pour satisfaire les besoins de sa population.

Des hausses brutales du prix des denrées alimentaires ont eu lieu en 2007–2008 et en 2010–2011, en raison d'une combinaison de facteurs à long terme et de chocs à court terme (Trostle, 2011). Le prix des denrées alimentaires de base connaît une hausse générale depuis 2002 en raison à la fois de la consommation et de facteurs liés à la production, dont la croissance démographique, la hausse des revenus par habitant, la consommation accrue de produits dérivés d'animaux, les taux de change, la hausse des prix de l'énergie, les conflits d'utilisation des terres à cause d'une augmentation de la production mondiale de biocarburants et à une croissance plus lente de la productivité agricole. En plus de ces tendances à long terme, les chocs à court terme ont entraîné des hausses de prix en 2007–2008 et 2010–2011. Les déficits de production causés par des phénomènes météorologiques violents, la chute des stocks mondiaux de céréales et d'oléagineux et les changements dans les politiques et pratiques commerciales (p. ex. les interdictions d'exportation et la levée des taxes à l'importation) ont été les principaux facteurs à court terme contribuant à la hausse des prix au cours de ces deux périodes, bien que l'importance et le séquençage de ces facteurs diffèrent (voir la figure 9.10a). En tant que grand producteur de blé, les pertes de récolte au Canada à cause du temps humide en 2010 ont été l'un des événements découlant de conditions météorologiques défavorables qui ont contribué à la hausse des prix des denrées alimentaires à l'échelle planétaire (voir la figure 9.10b).

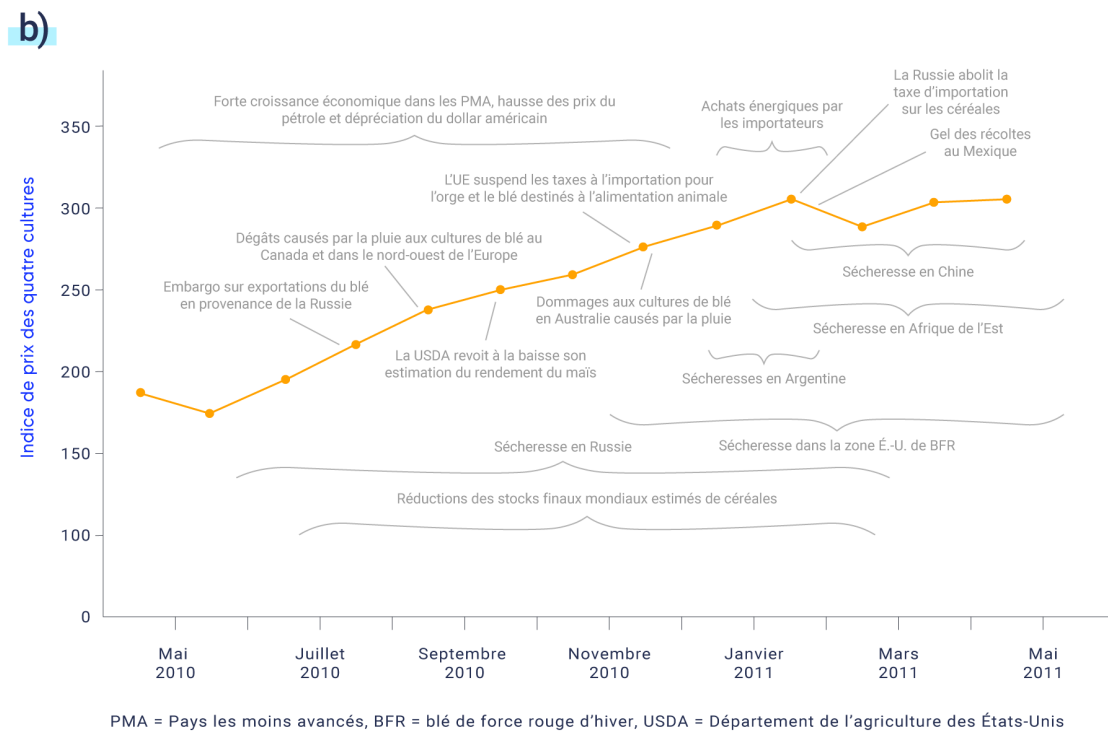
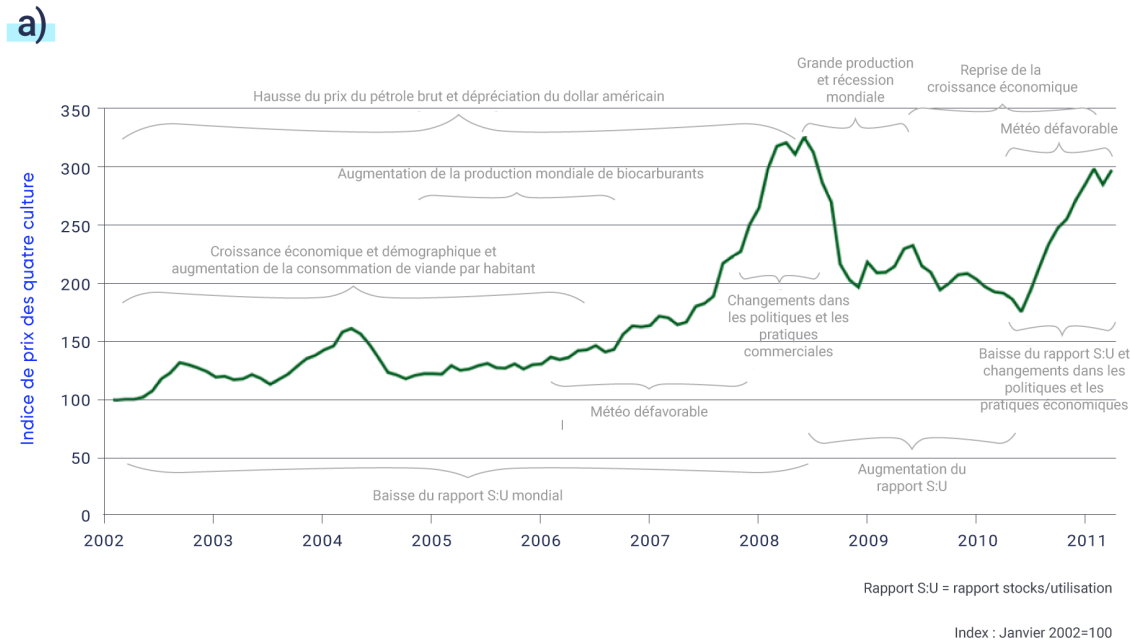


Figure 9.10 : Principaux facteurs contribuant à l'augmentation des prix mondiaux des denrées alimentaires, à partir d'un indice des prix fondé sur quatre cultures (blé, riz, maïs et soja). a) Indique l'évolution des prix des cultures pour la période de 2002 à 2011 (ligne verte) et indique les facteurs à long terme et à court terme qui contribuent aux changements de prix au fil du temps. Des équilibres plus serrés entre l'offre et la demande (comme le montre le ratio stocks-utilisation de la Bourse mondiale), et entre la croissance économique et la récession, par exemple, deviennent la toile de fond des phénomènes météorologiques et des politiques commerciales. b) Évolution des prix des récoltes entre mai 2010 et avril 2011 en fonction des phénomènes météorologiques qui ont entraîné des déficits d'approvisionnement. Tant les conditions humides que sèches qui n'étaient pas limitées à une seule région du monde ont contribué à réduire l'offre mondiale de cultures. Source : Adapté de Trostle, 2011.

En tant que nation commerçante, le Canada n'est pas à l'abri de l'influence des flambées mondiales des prix des denrées alimentaires de base. Les prix des denrées alimentaires au Canada, tels qu'ils ont été mesurés par l'indice des prix à la consommation (IPC), ont augmenté de façon marquée entre 2007 et 2012 (Rollin, 2013). L'IPC mesure les variations des prix en suivant le coût d'un panier fixe de biens et de services au fil du temps, les denrées alimentaires étant l'un des huit articles inscrits dans l'IPC. Entre 2007 et 2012, la composante alimentaire de l'IPC a augmenté à un rythme plus rapide que celui de l'IPC mondial : les prix des denrées alimentaires ont augmenté de 19 % au cours de la période alors que l'IPC d'ensemble excluant les denrées alimentaires a augmenté de 10,7 % (Rollin, 2013). Les ménages canadiens qui consacrent une plus grande proportion de leur budget à l'alimentation sont les plus vulnérables à l'inflation des prix des denrées alimentaires. Ces groupes comprennent les ménages à faible revenu, les ménages dirigés par des personnes âgées à revenu fixe et les ménages des régions éloignées. À l'échelle nationale, un ménage canadien sur huit a connu un certain niveau d'insécurité alimentaire en 2011, mesuré par l'incapacité d'avoir accès à des aliments adéquats en raison de contraintes financières (Tarasuk et coll., 2011).

Les prix des denrées alimentaires sur les marchés locaux présentent une variabilité d'année en année; il est donc important de considérer l'interaction entre les facteurs de niveau macro, tels que les chocs climatiques sur les approvisionnements de denrées alimentaires à l'échelle mondiale, parallèlement aux facteurs sectoriels et locaux, qui permettent de prévoir les changements futurs des prix des denrées alimentaires et de comprendre le rôle des changements climatiques dans l'évolution des prix. Au cours des 10 dernières années, des chercheurs de l'Université Dalhousie et de l'Université de Guelph ont produit un rapport qui prévoit les changements de prix potentiels dans huit catégories d'aliments (« Rapport canadien sur les prix alimentaires »). Au cours des années précédentes, cette recherche a inclus une évaluation qualitative des risques de douze variables liées à l'offre et à la demande et de leur influence sur les prix des aliments au Canada (voir le tableau 9.9). Les risques géopolitiques, les mesures prises par l'industrie de la transformation des aliments et le pouvoir d'achat des consommateurs ont été les principaux risques des prévisions de 2019, 2020 et 2021, respectivement aux niveaux macro, sectoriel et national.

Tableau 9.9 : Une gamme de facteurs macro (mondiaux), sectoriels et nationaux façonnent les prix des aliments pour les Canadiens sur les marchés locaux

NIVEAU	FACTEUR	2019		2020	
		IMPACT	PROBABILITÉ	IMPACT	PROBABILITÉ
Niveau global	Changements climatiques (~)	4	4	5	5
	Risques géopolitiques (~)	5	5	5	5
	Coûts des intrants (+)	4	4	4	4
	Coûts énergétiques (*)	3	4	3	4
	Inflation (+)	4	5	3	4
	Devises et environnement commercial (~)	4	5	4	5
Niveau sectoriel	Paysage de la vente au détail et de la distribution de produits alimentaires (-)	5	4	4	4
	Industrie de la transformation des aliments (+)	4	5	5	4
	Contexte politique (-)	5	5	3	5
	Sensibilisation et tendances en matière de produits alimentaires (-)	4	5	3	4

NIVEAU	FACTEUR	2019		2020	
		IMPACT	PROBABILITÉ	IMPACT	PROBABILITÉ
Niveau national	Endettement des consommateurs (-)	4	5	5	5
	Revenu des consommateurs et répartition des revenus (-)	4	5	5	5

Remarque : Ce tableau fournit une évaluation qualitative des prévisions de chacun de ces facteurs pour 2019, 2020 et 2021 selon deux dimensions : la probabilité d'occurrence et l'impact éventuel sur les prix des denrées alimentaires. La probabilité est représentée sur une échelle de 5 points où 4 signifie « probable » et 5 « très probable ». L'impact est représenté sur une échelle de 5 points où 3 signifie « modéré » et 4 « important ». Les facteurs peuvent influencer sur les prix de plusieurs façons : ils peuvent exercer une pression sur les prix à la baisse (-) ou à la hausse (+) ou leur effet peut être variable (~) ou négligeable (*).

Source : Collaboration d'auteurs issus de l'Université Dalhousie et de l'Université de Guelph, 2021, 2020, 2019.

Comme les produits agricoles et alimentaires sont particulièrement sensibles aux changements climatiques et sont fortement commercialisés (Dellink et coll., 2017), le lien entre le commerce international, les changements climatiques et la sécurité alimentaire reçoit une attention internationale (Mbow et coll., 2019; Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, 2018; Mosnier et coll., 2014). Les études prévoient une baisse de la production agricole mondiale, une augmentation des prix mondiaux des denrées alimentaires, une augmentation de l'activité bilatérale de commerce alimentaire et une perte de bien-être économique résultant des changements climatiques d'ici 2050 et 2080 (voir le tableau 9.10; Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, 2018). Un autre dénominateur commun est l'impact inégal d'une région à l'autre du monde; les pays tropicaux importateurs de denrées alimentaires sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques en raison de leur grande sensibilité économique aux chocs relatifs au rendement et aux termes d'échange et leur exposition élevée aux dangers climatiques (Gouel et Laborde, 2018; Distefano et coll., 2017). Contrairement aux projections mondiales, ces mêmes études montrent des résultats positifs pour le Canada pour certains indicateurs, y compris une augmentation des salaires agricoles et du bien-être économique. Toutefois, l'évaluation de la rentabilité de la sécurité alimentaire est sujette à plusieurs sources d'incertitude, notamment : l'ampleur des changements climatiques et leurs divers impacts locaux, les risques climatiques considérés, la productivité future et la valeur nutritionnelle assumée pour une gamme de produits alimentaires et agricoles de base, les effets interactifs entre les changements climatiques, la production intérieure et les importations, l'adaptation des producteurs et des consommateurs et la réactivité du commerce aux variations de prix. Par exemple, une étude modélisant les impacts des changements climatiques sur les marchés mondiaux pour 18 cultures jusqu'en 2050 suggère un changement relatif dans

les calories disponibles des cultures pour les consommateurs canadiens de -15 % à +4 % par rapport à une base de référence précédant les changements climatiques (Mosnier et coll., 2014), qui reflète l'incertitude dans la direction ainsi que l'ampleur du changement.

Tableau 9.10 : Résumé de certaines études internationales sur les impacts des changements climatiques sur l'agriculture et les échanges commerciaux

ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE	
			MONDIAL	CANADA
Costinot et coll. (2014)	<p>Changements agronomiques causés par les changements climatiques pour 10 cultures d'ici les années 2080 dans le cadre d'un scénario d'émissions élevées à l'échelle planétaire (SRES A1F1 du GIEC), permettant la fertilisation des plantes par dioxyde de carbone</p> <p>Trois scénarios contrefactuels : ajustement complet, aucun ajustement de la production (pays exerçant le libre-échange) et aucun ajustement commercial (les agriculteurs peuvent ajuster leurs opérations)</p>	<p>Impacts sur la productivité agricole de 10 cultures importantes (banane, maïs, coton, palmier à huile, riz, soja, canne à sucre, tomate, blé, pomme de terre blanche) dans 50 pays</p> <p>Variation du bien-être en pourcentage du PIB par rapport à une base de référence précédant les changements climatiques (à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable [EGC])</p>	<p>Variation du bien-être en pourcentage du PIB total dans les années 2080 de -0,26 % (ajustement complet), de -0,78 % (aucun ajustement de la production), de -0,27 % (aucun ajustement commercial)</p>	<p>Variation du bien-être en pourcentage du PIB total dans les années 2080 de +0,59 % (ajustement complet), de +0,47 % (aucun ajustement de la production), de +0,63 % (aucun ajustement commercial)</p>



ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE	
			MONDIAL	CANADA
Mosnier et coll. (2014)	<p>Changements agronomiques causés par les changements climatiques pour 18 cultures d'ici les années 2050 dans le cadre d'un scénario d'émissions élevées à l'échelle planétaire (SRES A2 du GIEC) et de modèles climatiques mondiaux</p> <p>Fait l'hypothèse d'une croissance de la demande en calories stimulée par la croissance démographique et économique. Des scénarios contrefactuels permettent des ajustements dans la production, la gestion, le commerce et la consommation</p>	<p>Impacts sur le rendement des récoltes de 18 cultures importantes (orge, manioc, pois chiches, maïs, coton, haricots secs, arachide, millet, palmier à huile, pomme de terre, colza, riz, sorgho, soja, canne à sucre, tournesol, patate douce, blé)</p> <p>Changements dans la disponibilité des calories des cultures pour la consommation alimentaire par rapport à une base de référence précédant les changements climatiques (à l'aide d'un modèle d'équilibre partiel GLOBIOM [Global Biosphere Management Model])</p>	Variation de la disponibilité calorique des cultures à l'échelle planétaire dans les années 2050 de +2 % à -3 %	<p>Variation de la disponibilité calorique des cultures dans les années 2050 de -15 % à +4 %</p> <p>Variation de la production intérieure brute (tonnes) dans les années 2050 de -18 % à +5 %</p> <p>Variation des importations totales (tonnes) dans les années 2050 de -8 % à 0 %</p>

ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE	
			MONDIAL	CANADA
Cui et al. (2018)	<p>Changements causés par les changements climatiques dans le rendement des principales denrées alimentaires et agricoles de base d'ici 2050 en fonction d'un profil d'évolution de concentration des émissions modéré (GIEC RCP6.0)</p> <p>Le scénario de référence contrefactuel suppose une croissance du PIB, de la population et du rendement des cultures en raison des changements technologiques de 134,7 %, 38,7 % et 38 %, respectivement, entre 2011 et 2050. Le scénario contrefactuel de libéralisation du commerce supprime tous les droits de douane à l'importation et les taxes/subventions à l'exportation pour l'agriculture et les denrées alimentaires</p>	<p>Impacts sur les rendements des principales cultures, du bétail et des aliments transformés</p> <p>Changements dans 1) le PIB, 2) le commerce alimentaire et agricole, et 3) les salaires des travailleurs agricoles par rapport à la base de référence de 2050 (à l'aide d'un modèle d'EGC)</p>	<p>Variation de -0,18 % du PIB mondial dans le cadre d'un scénario sur les changements climatiques en 2050 par rapport à la base de référence</p> <p>Variation de -0,17 % du PIB mondial dans le cadre d'un scénario sur les changements climatiques avec libéralisation du commerce en 2050 par rapport à la base de référence</p> <p>Variation de -0,24 % des salaires agricoles à l'échelle mondiale dans le cadre d'un scénario sur les changements climatiques en 2050 par rapport à la base de référence</p>	<p>Variation de +0,12 % du PIB dans le cadre d'un scénario sur les changements climatiques en 2050 par rapport à la base de référence</p> <p>Variation des exportations nettes de -1 milliard de dollars de denrées alimentaires et agricoles (en \$ US de 2011) en raison des changements climatiques en plus de la libéralisation du commerce en 2050 par rapport à la base de référence</p> <p>Variation de +8,0 % des salaires agricoles dans le cadre d'un scénario sur les changements climatiques en 2050 par rapport à la base de référence</p>



ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE	
			MONDIAL	CANADA
Cui et al. (2018) (continué)			Variation des exportations nettes mondiales en denrées alimentaires et agricoles (en milliards de dollars US 2011) en raison des changements climatiques, plus la libéralisation du commerce en 2050 par rapport au cadre de référence est de +62 milliards de dollars, contrebalancée par une augmentation correspondante en importations nettes de denrées alimentaires par régions importatrices de denrées alimentaires nettes	

ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE	
			MONDIAL	CANADA
Gouel et Laborde (2018)	<p>Changements causés par les changements climatiques dans le rendement de 35 cultures, de l'élevage de bétail et d'autres produits de base d'ici les années 2080 dans le cadre d'un scénario d'émissions mondiales élevées à l'échelle mondiale (SRES A1F1 du GIEC)</p> <p>Les scénarios contrefactuels ne comprennent aucun ajustement dans les hypothèses de production et de restriction des échanges</p>	<p>Impacts sur la productivité agricole de 35 cultures dans 50 pays</p> <p>Variation du bien-être en pourcentage du PIB par rapport à une base de référence précédant les changements climatiques (à l'aide d'un modèle d'EGC)</p>	<p>Variation de -1,72 % du bien-être en pourcentage du PIB total dans les années 2080 par rapport à la base de référence précédant les changements climatiques</p> <p>Variation de -3,71 % du bien-être en pourcentage du PIB total dans les années 2080 (par rapport au scénario avec changements climatiques) provenant des limites d'ajustements de production; de -3,02 % découlant des limites des parts d'importation bilatérales et de -2,18 % provenant des limites des parts d'exportation</p>	<p>Variation de +2,36 % du bien-être en pourcentage du PIB total dans les années 2080 (pour les termes d'échange en agriculture) et de +0,49 % (en variation de productivité) par rapport à la base de référence précédant les changements climatiques</p> <p>Variation de +6,92 % du bien-être en pourcentage du PIB dans les années 2080 (par rapport au scénario avec changements climatiques) provenant des limites d'ajustements de production; de -0,28 % découlant des limites des parts d'importation bilatérales et de +3,65 % provenant des limites des parts d'exportation</p>

Peu d'études évaluent les impacts futurs des changements climatiques et les tendances du commerce international (Dawson et coll., 2020b), et peu d'entre elles comportent des résultats pour le Canada (voir le tableau 9.11). Les études utilisent des modèles de simulation économique et présentent les impacts des changements climatiques, également appelés dommages, comme des chocs externes sur les économies infranationales, nationales et régionales, en examinant les interactions entre les secteurs, les géographies, les producteurs, les consommateurs, ainsi que les phénomènes à l'échelle de l'économie (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) » pour les principales définitions). Il est difficile de comparer les résultats d'une étude à l'autre en raison des différences de portée (temporelle et spatiale), de couverture (catégories d'impact des changements climatiques, biens et secteurs), de cadre de référence, de scénarios (climatiques, socio-économiques et politiques) et d'hypothèses simplifiées sur les systèmes économiques, pour ne citer que ces facteurs. Même les études axées sur un seul secteur peuvent générer des projections de grande ampleur, puisqu'il peut y avoir des différences dans les structures des modèles (p. ex. un seul secteur par rapport à l'économie entière, régions représentées), les spécifications commerciales, les marchandises incluses, les prix et les sensibilités à la consommation (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, 2018). Des études canadiennes évaluant les impacts économiques des changements climatiques sur la foresterie seulement et en combinaison avec des impacts sur les services d'utilisation des terres agricoles, illustrent l'importance de la modélisation multirégionale et multisectorielle pour obtenir une analyse plus précise (Ochuodho et coll., 2016; Ochuodho et Lantz, 2014).

Tableau 9.11 : Résumé de certaines études internationales sur les impacts économiques des changements climatiques sur les échanges commerciaux à l'échelle internationale

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE		
			MONDIAL	CANADA OU AMÉRIQUE DU NORD	ÉTATS-UNIS
Transport (mondial) Chatzivasileiadis et coll. (2016)	Élévation du niveau de la mer à cause du climat d'ici 2050 en fonction d'un profil de concentration des émissions élevé (GIEC RCP8.5)	Pertes de terres côtières et de capitaux en raison des dégâts causés par l'immersion et les inondations, et perturbations du transport induites par l'élévation du niveau de la mer	Le pourcentage de variation des exportations mondiales en 2050 dans trois scénarios est de 0,51 % (de 0,44 % à 0,61 %)	Le pourcentage de variation des exportations en Amérique du Nord en 2050 dans trois scénarios est de 0,49 % (de 0,39 % à 0,53 %)	

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE		
			MONDIAL	CANADA OU AMÉRIQUE DU NORD	ÉTATS-UNIS
<p>Transport (mondial)</p> <p>Chatzivasileiadis et coll. (2016)</p> <p>(continué)</p>	<p>Voie de développement socio-économique partagée « moyenne » (GIEC SSP2) et trois scénarios de perturbations du transport induites par l'élévation du niveau de la mer</p>	<p>Effets économiques directs et indirects (changements dans les technologies de production, les modèles de consommation et de commerce international), y compris les changements dans l'activité commerciale, les termes d'échanges commerciaux et le bien-être par rapport aux changements autres que climatiques (à l'aide d'un modèle d'EGC)</p>	<p>Variation des termes d'échange à l'échelle mondiale (en \$ US) en 2050 sur trois scénarios : -7 millions de dollars (de -4,3 à -11,4 millions de dollars)</p> <p>Variation du bien-être (en \$ US) en 2050 sur trois scénarios : 50 milliards de dollars (de -42 à 61 milliards de dollars)</p>	<p>Variation des termes d'échange (en \$ US) en 2050 pour l'Amérique du Nord sur trois scénarios : +535 millions de dollars (de 380 à 630 millions de dollars)</p> <p>Variation du bien-être (\$ US) en 2050 pour l'Amérique du Nord sur trois scénarios : -9,7 milliards de dollars (de -7,8 à -12,4 milliards de dollars)</p>	

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE		
			MONDIAL	CANADA OU AMÉRIQUE DU NORD	ÉTATS-UNIS
Multisecteur (mondial) OCDE (2015)	<p>Variation moyenne de la température planétaire de 2,5 °C (fourchette probable de 1,6 °C à 3,6 °C) au-dessus des niveaux préindustriels d'ici 2060</p> <p>La base de référence « aucun dommage » comprend la croissance annuelle moyenne du PIB. Des mesures d'adaptation axées sur le marché sont prises en considération</p>	<p>Impact sur les rendements des récoltes et les prises de poissons, les zones côtières, la santé humaine, la productivité du travail, la demande en énergie, les flux touristiques et les dommages des ouragans.</p> <p>Effets économiques directs et indirects, y compris le pourcentage de variation du PIB par rapport à la référence « sans dommages » d'ici 2060, provenant de toutes les catégories d'impact et des impacts agricoles seuls (à l'aide d'un modèle d'EGC)</p>	<p>Le pourcentage de variation du PIB mondial d'ici 2060 par rapport à toutes les catégories d'impacts est de -1,52 %.</p> <p>Le pourcentage de variation du PIB mondial d'ici 2060 par rapport aux impacts climatiques sur l'agriculture est de -0,48 %.</p>	<p>Le pourcentage de variation du PIB canadien d'ici 2060 par rapport à toutes les catégories d'impacts est de +0,88 %.</p> <p>Le pourcentage de variation du PIB canadien d'ici 2060 par rapport aux impacts climatiques sur l'agriculture est de -0,11 %.</p>	<p>Le pourcentage de variation du PIB en \$ US d'ici 2060 par rapport à toutes les catégories d'impacts est de -0,47 %.</p> <p>Le pourcentage de variation du PIB en \$ US d'ici 2060 par rapport aux impacts climatiques sur l'agriculture est de -0,27 %.</p>



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE		
			MONDIAL	CANADA OU AMÉRIQUE DU NORD	ÉTATS-UNIS
<p>Multisecteur (mondial)</p> <p>Dellink et coll. (2017)</p>	<p>Variation moyenne de la température planétaire de 2,5 °C (fourchette probable de 1,6 °C à 3,6 °C) au-dessus des niveaux préindustriels d'ici 2060</p>	<p>Impact sur les rendements des récoltes et les prises de poissons, les zones côtières, la santé humaine, la productivité du travail, la demande en énergie, les flux touristiques et les dommages des ouragans</p>	<p>Le pourcentage de variation des volumes de commerce mondial en 2060 par rapport à la valeur de référence « sans dommage » est de -1,8 % (exportations) et -1,6 % (importations)</p>	<p>Le pourcentage de variation des volumes de commerce en 2060 par rapport à la valeur de référence « sans dommage » est de +0,2 % (exportations) et -0,1 % (importations)</p>	<p>Le pourcentage de variation des volumes de commerce en 2060 par rapport à la valeur de référence « sans dommage » est de -0,5 % (exportations) et -1 % (importations)</p>



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE		
			MONDIAL	CANADA OU AMÉRIQUE DU NORD	ÉTATS-UNIS
<p>Multisecteur (mondial)</p> <p>Dellink et coll. (2017)</p> <p>(continué)</p>	<p>La base de référence « aucun dommage » comprend la croissance annuelle moyenne du PIB. Des mesures d'adaptation axées sur le marché sont prises en considération</p>	<p>Effets économiques directs et indirects, y compris le pourcentage de variation des échanges commerciaux par rapport à la référence « sans dommages » d'ici 2060, provenant de toutes les catégories d'impact et des changements provenant des avantages comparatifs révélés liés aux impacts des changements climatiques sur l'agriculture (à l'aide d'un modèle d'EGC)</p>		<p>Le pourcentage de variation des taux d'avantage comparatifs révélés pour les denrées alimentaires en 2060 par rapport à la valeur de référence « sans dommage » est de +0,2 %.</p>	<p>Le pourcentage de variation des taux d'avantage comparatifs révélés pour les denrées alimentaires en 2060 par rapport à la valeur de référence « sans dommage » pour les États-Unis est de +0,6 %.</p>

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES LIÉES AU COMMERCE		
			MONDIAL	CANADA OU AMÉRIQUE DU NORD	ÉTATS-UNIS
<p>Multisecteur (États-Unis)</p> <p>Zhang et coll. (2018)</p>	<p>Augmentation de la température moyenne annuelle aux États-Unis sur une base décennale de 2020 à 2100 dans le cadre d'un scénario intermédiaire d'émissions (GIEC RCP4.5)</p> <p>Population et économies fixées aux valeurs de 2012, qui constitue l'année de référence</p>	<p>Impact sur le rendement agricole, demande d'énergie et main-d'œuvre aux États-Unis</p> <p>Effets multiplicateurs économiques sur le reste du monde découlant de dommages économiques directs et de l'impact économique indirect des changements climatiques aux États-Unis (à l'aide d'un modèle d'entrées-sorties à effets multiplicateurs à l'échelle internationale)</p>	<p>Les effets multiplicateurs économiques sur le monde en 2050 (augmentation de la température moyenne annuelle de 1,51 °C par rapport à 2012) représentent 51,5 % des dommages économiques directs aux États-Unis.</p>	<p>Le pourcentage de variation du PIB canadien en 2050 des effets multiplicateurs économiques découlant des impacts des changements climatiques aux États-Unis est de -0,4 % (-0,1 % à -0,6 %)</p> <p>Le pourcentage de variation du PIB sectoriel canadien en 2050 des effets multiplicateurs économiques découlant des impacts des changements climatiques aux États-Unis est de -0,16 % (exploitations minières), -0,12 % (« autres services »), -0,1 % (secteur manufacturier)</p>	

Parce que les études sont limitées et que leurs méthodes sont incohérentes, les résultats numériques sont peu fiables. Néanmoins, certains résultats qualitatifs sur les changements climatiques et le commerce sont dignes d'intérêt. Des études montrent que le Canada est l'une des rares régions mondiales qui pourraient connaître des effets positifs sur son PIB, des gains commerciaux et une hausse des exportations dans plusieurs secteurs d'ici le milieu du siècle en raison des changements climatiques (Dellink et coll., 2017; Chatzivasileiadis et coll., 2016; OCDE, 2015). Par rapport à d'autres régions du monde, la macroéconomie du Canada pourrait ne pas être aussi touchée par les impacts des changements climatiques en raison de gains (ou pertes relativement moins importantes) de compétitivité sur les marchés nationaux et internationaux (Dellink et coll., 2017). Les avantages économiques pour le Canada se rapportent à une hausse de la demande dans les domaines de l'énergie, des services de santé et du tourisme (OCDE, 2015). Étant donné que les liens commerciaux entre les différentes régions peuvent propager ou atténuer les risques, il convient d'examiner de plus près la sensibilité aux changements climatiques des principales nations commerçantes (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). Une étude a modélisé les conséquences économiques mondiales des impacts des changements climatiques sur les rendements des récoltes, la demande énergétique et la productivité du travail aux États-Unis jusqu'en 2100, selon une gamme de scénarios d'augmentation de la température (Zhang et coll., 2018). Les effets multiplicateurs économiques à l'échelle mondiale représentent une part importante des dommages directs aux États-Unis et ils sont plus importants pour le Canada que pour d'autres régions modélisées, y compris les impacts négatifs économiques et sectoriels (p. ex. sur l'exploitation minière, la fabrication et les « autres services », en particulier) (Zhang et coll., 2018). De même, des chercheurs en Europe ont modélisé les effets sur le commerce découlant des impacts des changements climatiques en dehors de la région, montrant que les effets les plus graves sur le bien-être dans l'UE proviennent soit des Amériques, soit de l'Asie (Szewczyk et coll., 2013). Ces types d'analyses peuvent aider à fournir une vision plus équilibrée de la répartition potentielle des impacts des changements climatiques sur le commerce dans les régions plus froides par rapport aux régions plus chaudes du monde.

9.4.3 Adaptation

L'adaptation aux changements climatiques dans le commerce international se produit sur plusieurs échelles. Cela comprend des mesures de l'industrie et des acteurs économiques pour gérer les perturbations commerciales provoquées par les changements climatiques et tirer parti des nouveaux marchés pour les biens et services d'adaptation. Cela comprend également des mesures spontanées (c.-à-d. axées sur le marché) et planifiées pour renforcer la résilience climatique dans les systèmes commerciaux mondiaux.

L'industrie canadienne reconnaît la relation entre les politiques climatiques et la compétitivité internationale (Chambre de Commerce du Canada, 2019), mais il y a peu de signes indiquant que des mesures sont prises pour évaluer et gérer les impacts sur le commerce découlant des phénomènes extrêmes et des variations climatiques (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). En 2016, la Chambre de Commerce du Canada a inclus les changements climatiques parmi les dix principaux obstacles à la compétitivité, soulignant la nécessité de prévoir une stratégie nationale d'adaptation (Chambre de Commerce du Canada, 2016). Son rapport de recommandation de 2019 sur la politique climatique reconnaît le rôle du commerce dans la transition vers une économie à faibles émissions de carbone au Canada, mais ne traite pas de l'adaptation (Chambre de Commerce du Canada, 2019). La Fédération canadienne de l'agriculture (2017) préconise des outils

et des incitatifs financiers visant à appuyer la planification de l'adaptation par les producteurs canadiens afin de protéger les moyens de subsistance des agriculteurs au pays et d'améliorer la sécurité alimentaire et la stabilité des prix mondiaux des denrées de base en cas de mauvaises récoltes dans d'autres régions productrices. Bien que ces impacts indirects des changements climatiques soient reconnus comme un problème commercial à gérer, la preuve de l'étendue des mesures prises par les entreprises pour s'adapter aux risques et aux occasions qui en découlent est inégale. Les réponses à une initiative de divulgation volontaire en 2015 ont permis de conclure que, par comparaison avec des entreprises de 10 autres pays, les sociétés canadiennes cotées en bourse ont sous-évalué les risques liés à l'eau, un aspect crucial de la résilience de la chaîne d'approvisionnement (CDP, 2015). À l'inverse, la recherche sur l'étude de cas met en évidence un certain leadership canadien dans la détermination des risques liés aux changements climatiques et la réaction face à ceux-ci concernant les actifs, les fournisseurs et les réseaux de distribution à l'étranger (CPA Canada, 2015). Les stratégies de gestion des risques liés aux chaînes d'approvisionnement résultant des changements climatiques incluent de comprendre la façon dont les risques liés aux impacts des changements climatiques interagissent avec d'autres risques, l'utilisation de la planification de scénarios pour éclairer les plans de gestion des risques et l'établissement de partenariats afin de soutenir l'approvisionnement durable en intrants en cas de pénurie de ressources (Das et Lashkari, 2015; Gledhill et coll., s.d.). Dans la gestion des risques de la chaîne d'approvisionnement, l'adaptation des planificateurs et des exploitants de ports et de terminaux est cruciale pour améliorer la résilience climatique des infrastructures commerciales essentielles, mais les appuis financiers pour agir ne sont pas toujours conséquents (Ng et coll., 2016). Puisque les ports offrent des avantages à diverses échelles, il n'est pas toujours évident de savoir qui doit prendre la direction des opérations et comment les mesures d'adaptation, y compris les changements dans la technologie, l'ingénierie, la conception, l'entretien et l'assurance (Scott et coll., 2013), devraient être financées (Becker et coll., 2017). L'expérience du port de Vancouver, le plus grand port au Canada en termes de tonnage, illustre l'écart qui existe entre la planification et la mise en œuvre de l'adaptation (Becker et coll., 2017). La stratégie de l'administration portuaire est axée sur la compréhension des risques côtiers et la réaction à ceux-ci, avec un engagement à surveiller les effets des changements climatiques et à prendre des mesures, le cas échéant (Port de Vancouver, s.d.).

L'adaptation consiste à tirer parti des occasions découlant des changements climatiques, comme les occasions liées aux affaires et aux emplois créées par l'amélioration du commerce grâce aux solutions d'adaptation aux changements climatiques (Trabacchi et coll., 2020; Conference Board du Canada, 2017). Selon l'orientation thématique des contributions déterminées au niveau national soumises à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, les pays d'Amérique latine et des Caraïbes, d'Afrique et d'Asie du Sud considèrent l'adaptation comme une priorité de développement fondamentale (Trabacchi et coll., 2020). Les pays qui investissent dans le renforcement de leur résilience climatique et travaillent à mieux faciliter l'adaptation des marchés à l'échelle nationale pourraient être avantagés en tant que fournisseurs mondiaux de solutions d'adaptation (Deloitte et ESSA technologies Ltd., 2016). Au minimum, les entreprises qui font preuve de leadership international dans des domaines clés du financement climatique (c.-à-d. les fonds accordés par les pays industrialisés aux économies émergentes), comme l'agriculture, l'ingénierie et la construction, les solutions relatives à l'eau et aux eaux usées, la géomatique, les services d'experts-conseils et les technologies de l'information et de la communication, pourraient bénéficier des 60 à 100 milliards de dollars US par an prévus pour le financement mondial nécessaire à l'adaptation dans les pays en développement jusqu'en 2050 (GIEC, 2014). L'expertise du Canada dans les domaines de la foresterie

et des produits forestiers, de l'ingénierie et des infrastructures côtières, des technologies océaniques, de l'eau et des eaux usées ainsi que des outils de transfert des risques financiers, entre autres, pourrait être exploitée pour répondre à la demande mondiale croissante (Deloitte et ESSA technologies Ltd., 2016; Kovacs et Thistlethwaite, 2014). Depuis 2018, Affaires mondiales Canada a accru son soutien à la participation des entreprises canadiennes aux marchés émergents de l'adaptation, y compris l'établissement d'un réseau mondial de délégués commerciaux canadiens qui se consacrent à cette tâche et qui fournissent des renseignements sur les marchés.

Les ajustements à court et à long terme du commerce en réponse à la variabilité du climat ou aux phénomènes météorologiques extrêmes sont essentiellement des exemples d'adaptation, poussés par les signaux du marché. Ainsi, le renforcement de l'activité commerciale pourrait jouer un rôle dans l'atténuation des conséquences futures des changements climatiques. Les importations et les changements de fournisseurs peuvent réduire la pression exercée par les chocs sur la production et les prix plus élevés d'une année à l'autre (Dellink et coll., 2017; Baldos et Hertel, 2015; Mosnier et coll., 2014; Stephan et Schenker, 2012). À long terme, la production peut se déplacer vers des zones qui ont l'avantage comparatif de la résilience climatique (Baldos et Hertel, 2015; Stephan et Schenker, 2012). Par exemple, une saison de croissance plus longue au Canada et une adaptation proactive des producteurs nationaux pourraient entraîner des excédents agricoles, pourvu que les sols et l'eau le permettent, ce qui pourrait compenser les déficits de production dans d'autres régions. Les modèles commerciaux historiques illustrent la faisabilité de compter sur des échanges commerciaux efficaces comme assurance contre les risques découlant des changements climatiques. Les chocs provoqués par la demande dans le secteur forestier au cours du siècle dernier, qui ont été induits par le commerce, ont amené les gestionnaires à rajuster la portée et l'échelle envisagée pour s'adapter aux changements climatiques (Sohngen et Tian, 2016). À l'inverse, les barrières tarifaires et non tarifaires (p. ex. les interdictions d'exportation) appliquées aux échanges commerciaux ont entravé les ajustements historiques du commerce alimentaire mondial en réponse aux chocs économiques (Baldos et Hertel, 2015). Des études modélisant l'impact économique futur des changements climatiques sur les denrées alimentaires et l'agriculture à l'échelle mondiale montrent un effet modérateur potentiel de la libéralisation du commerce sur l'insécurité alimentaire et le déclin de la production à l'échelle mondiale d'origine climatique (Cui et coll., 2018; Gouel et Laborde, 2018), ainsi que le rôle important de l'adaptation des agriculteurs dans la réduction des pertes économiques (Costinot et coll., 2014). Ces études économiques et de modélisation suggèrent que les pays riches sont plus susceptibles de tirer des bénéfices de l'effet adaptatif du commerce que les régions du Sud à l'échelle planétaire, qui manquent parfois de ressources et d'infrastructures pour s'adapter de manière spontanée. L'appui financier à l'adaptation planifiée, y compris par le biais de l'aide internationale (voir la section 9.6), pourrait donc être justifié sur la base de l'intérêt économique ainsi que de la justice et de l'équité (Stephan et Schenker, 2012). Les représentations stylisées de l'évolution du commerce international dans le contexte des changements climatiques peuvent ne pas tenir compte des dynamiques comme les investissements planifiés en infrastructures commerciales et l'élimination des politiques d'échanges commerciaux qui causent des distorsions du marché (p. ex. les subventions) (Gouel et Laborde, 2018). Dans ce contexte, l'adaptation implique, par exemple, de promouvoir la croissance dans des secteurs et des régions donnés afin de contrer la rareté de ressources dans d'autres pays causée par les changements climatiques, de réduire la dépendance aux importations pour les produits de base, de diversifier les partenaires commerciaux et de remédier aux faiblesses des institutions commerciales (Dallman, 2019; Mbow et coll., 2019; Gouel et Laborde, 2018; Kovacs et Thistlethwaite, 2014).

9.5 Les migrations humaines et les évacuations liées aux changements climatiques augmenteront la demande d'immigration au Canada

Les cyclones tropicaux, les inondations, les sécheresses, les feux de forêt et l'insécurité alimentaire obligent des millions de personnes à migrer chaque année. D'ici le milieu et la fin du siècle, les changements climatiques généreront un nombre croissant de migrants, en particulier dans les pays les moins développés d'Afrique subsaharienne, d'Asie, d'Amérique latine et des Caraïbes. Le Canada sera soumis à des pressions internes et externes croissantes pour accepter un plus grand nombre d'immigrants en provenance de régions perturbées par les changements climatiques.

Les migrations et les évacuations peuvent être le résultat direct de phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, comme les cyclones tropicaux, les inondations, les sécheresses et les feux de forêt, ou comme conséquence indirecte des impacts climatiques sur les approvisionnements en denrées alimentaires, la disponibilité en eau potable et les moyens de subsistance. La migration en réaction aux risques climatiques est influencée par les caractéristiques des ménages et par des facteurs sociétaux qui affectent la capacité d'adaptation. À l'échelle mondiale, une moyenne de 21 millions de personnes sont déplacées chaque année par les inondations, la sécheresse, les tempêtes, les feux de forêt, les chaleurs extrêmes et d'autres risques liés aux changements climatiques. Les changements climatiques exacerberont la fréquence et la gravité de ces phénomènes dans de nombreuses régions et ils auront des effets de migration et d'évacuation particulièrement importants dans les pays les moins développés d'Afrique subsaharienne, d'Asie du Sud et du Sud-est, d'Amérique latine et des Caraïbes. Des études récentes prévoient une augmentation de 50 % des risques de déplacements pour chaque degré Celsius de réchauffement. L'élévation du niveau de la mer nécessite déjà la réinstallation de petites communautés côtières en Alaska, dans la baie de Chesapeake, dans le golfe du Mexique, aux îles Fidji et en Papouasie–Nouvelle-Guinée. D'ici 2100, l'élévation du niveau de la mer forcera la réinstallation de dizaines de millions de personnes vivant dans des plaines côtières, des deltas fluviaux et de petits États insulaires, en particulier dans l'hémisphère sud. La pauvreté ainsi que la faiblesse de la gouvernance et des institutions sont les causes profondes des migrations massives ou des évacuations soudaines. Au fur et à mesure que les changements climatiques s'intensifieront, le Canada peut s'attendre à une augmentation de la demande d'immigration en provenance des pays déjà fortement exposés aux risques climatiques, comme les Philippines, la Chine, l'Inde, le Pakistan et la Syrie. La communauté internationale pourrait également compter de plus en plus sur le Canada pour fournir une aide financière et servir de destination de réinstallation pour les personnes de pays en développement très vulnérables ayant peu de liens historiques avec le Canada. De nombreuses zones côtières fortement peuplées des États-Unis sont très exposées aux tempêtes et aux inondations extrêmes, qui seront amplifiées par la hausse du niveau de la mer. La plupart des personnes déplacées se réinstalleront probablement aux États-Unis, mais l'ampleur des perturbations sociales et économiques possibles qui en découlent mérite la surveillance des effets potentiels sur les réseaux de migrants établis vers le Canada.

9.5.1 Introduction

La présente section décrit la relation entre les changements climatiques et la migration humaine, examine les estimations et tendances actuelles et futures de la migration mondiale liée aux changements climatiques et expose les préoccupations futures pour le Canada.

9.5.2 Le lien climat-migration

Les mouvements migratoires sont le résultat cumulatif des facteurs culturels, économiques, politiques, sociaux et environnementaux qui s'exercent à l'échelle locale et mondiale (van Hear et coll., 2018; Foresight, 2011). Les liens entre les changements climatiques et la migration sont contextuels et ils ne sont pas toujours évidents, souvent parce que les facteurs de stress climatiques sont rarement les seuls facteurs qui déterminent la décision de migrer (McLeman, 2014). Les phénomènes climatiques peuvent stimuler directement l'évacuation et la migration, comme ce fut le cas en Nouvelle-Orléans après l'ouragan Katrina (DeWaard et coll., 2016), ou avoir une influence indirecte, comme par le biais de chocs climatiques, sur la production ou les prix des denrées alimentaires (Maharatna, 2014). Les migrants internationaux pourraient ne pas divulguer leurs motivations environnementales aux fonctionnaires, car les pays d'accueil ne les considèrent généralement pas comme des raisons valables d'immigration (McLeman et coll., 2017; Mezdour et coll., 2015; Veronis et McLeman, 2014 ont publié des exemples relatifs au Canada).

Les recherches actuelles cernent trois ensembles de liens entre les changements climatiques et la migration :

- La migration en tant que mesure d'adaptation des ménages face aux risques climatiques (ci-après nommée « migration adaptative »);
- L'évacuation ou la réinstallation planifiée de personnes dans des zones touchées par les risques climatiques ou très exposées à ce risque;
- L'immobilité ou l'incapacité à migrer, qui piège les gens dans des endroits très exposés.

La migration adaptative varie des déplacements temporaires ou saisonniers à des réinstallations pour une période indéterminée; il peut s'agir d'une mesure suivant des phénomènes climatiques défavorables ou d'un effort pour tirer profit de conditions climatiques avantageuses. Les phénomènes climatiques défavorables les plus fréquents associés à la migration et aux évacuations sont les tempêtes extrêmes, les inondations et les sécheresses (Centre interne de surveillance des catastrophes, 2020). Les changements climatiques peuvent influencer les migrations locales, régionales et internationales de plusieurs façons, en fonction des impacts spécifiques des phénomènes climatiques et des effets médiateurs des caractéristiques sociétales et domestiques (voir le tableau 9.12). Il peut s'agir de changements dans la destination, la durée ou le moment de la migration, l'orientation des flux migratoires nets et les taux de participation à la migration (voir le tableau 9.12; Suckall et coll., 2017; Gray et Wise, 2016; McLeman, 2014; Black et coll., 2011).


Les migrations varient selon le phénomène climatique et ses caractéristiques, comme sa fréquence, sa durée et la nature des dommages qu'il cause aux infrastructures, aux biens et aux moyens de subsistance



des ménages (voir le tableau 9.12). Par exemple, les cyclones tropicaux présentent trois dangers à la fois : des vents violents qui font tomber les arbres et les lignes électriques, de fortes pluies qui déclenchent des inondations soudaines, de même que des glissements de terrain et des ondes de tempête qui inondent les zones de faible altitude. De tels phénomènes génèrent des évacuations à court terme des collectivités touchées; la probabilité pour les résidents de retourner chez eux, de reconstruire et d'y rester dépend de l'étendue des dommages qu'ont subis les maisons et les infrastructures et de la capacité des gouvernements à aider à la reconstruction (Fussell, 2018; Mallick et Vogt, 2012). Dans les semaines et les mois qui suivent la tempête, la migration hors de la zone touchée peut augmenter à mesure que les jeunes travailleurs cherchent du travail pour envoyer de l'argent chez eux et contribuer à la reconstruction des maisons et au rétablissement des moyens de subsistance (Loebach, 2016). Cela s'est produit, par exemple, lorsque les travailleurs portoricains ont déménagé en masse sur le continent américain à la suite de l'ouragan Maria (Echenique et Melgar, 2018). En revanche, les phénomènes à évolution lente, comme la sécheresse, peuvent ne pas stimuler la migration immédiatement. Un décalage se produit lorsque les ménages cherchent à s'adapter par d'autres moyens moins perturbateurs, les migrations n'ayant suivi que lorsque les conditions de sécheresse persistent et que d'autres options d'adaptation échouent (Nawrotzki et DeWaard, 2016). Parce que les maisons ou les biens ont tendance à rester intacts, certains membres des ménages peuvent rester dans la zone à risque, alors que, généralement, les jeunes adultes migrent à la recherche d'un emploi (Baez et coll., 2017).

Tableau 9.12 : Résumé des facteurs de migration liés aux changements climatiques, des facteurs sociétaux et des facteurs familiaux principaux qui interviennent dans la migration et les résultats potentiels des interactions afférentes

FACTEURS DE STRESS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	FACTEURS MÉDIATEURS AU NIVEAU SOCIÉTAL	FACTEURS MÉDIATEURS AU NIVEAU DU MÉNAGE	CONSÉQUENCES POTENTIELLES DE LA MIGRATION PROVENANT DES INTERACTIONS DE FACTEURS ÉNUMÉRÉES DANS LES AUTRES COLONNES
<p>Changements dans la fréquence, la gravité et l'étendue spatiale de ce qui suit :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;">   </div> <p>Changements dans les éléments suivants, associés aux facteurs de stress ci-dessus :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;">   </div>	<p>Environnemental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cadre physique (p. ex. tropical, tempéré, subarctique, côtier par rapport à l'intérieur des terres) • Topographie, caractéristiques des bassins versants, ressources en eau souterraine • Couverture terrestre • Dommages environnementaux de base (ou mesures correctives) provenant de l'activité humaine 	<p>Conditions préexistantes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Composition (p. ex. structure de la famille, nombre de membres, âge, sexe, personnes à charge) • Capital humain (p. ex. éducation, compétences professionnelles, santé) • Capital financier (p. ex. sources de revenus directes et indirectes, accès aux transferts de fonds, propriété d'actifs) • Capital social (p. ex. liens de parenté, réseaux familiaux étendus, appartenance formelle et informelle à des organisations communautaires) 	<p>Destinations de migration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Choix entre une destination à proximité et une destination éloignée • Choix de destinations communes ou de nouvelles destinations <hr/> <p>Durée ou moment de la migration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Migration temporaire ou saisonnière par rapport à la migration indéfinie • Migration non planifiée, migration planifiée reportée

FACTEURS DE STRESS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	FACTEURS MÉDIATEURS AU NIVEAU SOCIÉTAL	FACTEURS MÉDIATEURS AU NIVEAU DU MÉNAGE	CONSÉQUENCES POTENTIELLES DE LA MIGRATION PROVENANT DES INTERACTIONS DE FACTEURS ÉNUMÉRÉES DANS LES AUTRES COLONNES
(Continué de la page précédente)	<p>Économique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Structure de l'économie • Robustesse des secteurs économiques et des marchés du travail • Égalité (ou inégalités) économique et répartition des richesses • Régions sous régime foncier 	<p>Nature des impacts de phénomènes particuliers liés aux changements climatiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Blessure ou décès parmi les membres du ménage • Domicile endommagé ou perdu • Perte de revenus, moyens de subsistance, actifs • Pertes subies par les voisins, les membres de la famille élargie ou la collectivité locale • Impacts temporaires par rapport aux impacts indéfinis 	<p>Direction des flux de migration nets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les taux de migration vers des sites spécifiques peuvent augmenter ou diminuer • Les sites d'origines deviennent des destinations et inversement • Phénomène climatique stimulant la migration de retour pour aider à la reprise
<p>Risques liés à l'élévation du niveau de la mer :</p> 	<p>Politique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacité financière du gouvernement • Activités et efficacité du gouvernement • Stabilité politique, troubles ou conflits • Corruption • Contrôles aux frontières et régimes d'immigration des États voisins 		<p>Taux de participation à la migration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les taux de migration vers des sites spécifiques peuvent augmenter ou diminuer • Les taux de migration de groupes particuliers peuvent changer par rapport à d'autres



FACTEURS DE STRESS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	FACTEURS MÉDIATEURS AU NIVEAU SOCIÉTAL	FACTEURS MÉDIATEURS AU NIVEAU DU MÉNAGE	CONSÉQUENCES POTENTIELLES DE LA MIGRATION PROVENANT DES INTERACTIONS DE FACTEURS ÉNUMÉRÉES DANS LES AUTRES COLONNES
<p>(Continué de la page précédente)</p>	<p>Social</p> <ul style="list-style-type: none"> • Structure démographique et tendances démographiques • Urbanisation • Normes culturelles relatives à la mobilité et à la migration • Normes relatives au genre • Traitement des groupes autochtones, des minorités et des populations marginalisées • Réseaux sociaux et liens linguistiques/ culturels (nationaux et avec l'étranger) 	<p>Préparation à la migration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Expérience de migration passée • Transférabilité des compétences professionnelles • Étendue géographique des réseaux sociaux • Capacité du ménage de supporter une absence prolongée de ses membres • Capacité de financer la migration 	<p>Réinstallations organisées et retraites planifiées</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les institutions aident activement l'évacuation des ménages ou des collectivités <hr/> <p>Immobilité</p> <ul style="list-style-type: none"> • La réinstallation est la mesure à privilégier, mais n'est pas réalisable pour les ménages, qui ne reçoivent aucune ressource des institutions • Une forte résistance à la réinstallation peut provenir des liens culturels ou sociaux avec l'endroit et d'indigénéité

Clé



Sources : McLeman, 2020; Hauer et coll., 2020; Cattaneo et coll., 2019; Baez et coll., 2017; Suckall et coll., 2017; Adams, 2016; Gray et Wise, 2016; Hunter et coll., 2015; McLeman, 2014; Black et coll., 2011.

Outre les caractéristiques du phénomène climatique, la propension des personnes à migrer dépend également des options d'adaptation disponibles pour les ménages touchés (Black et coll., 2011). Les options des ménages sont influencées par une large gamme de processus économiques, sociaux, politiques et culturels qui échappent à leur contrôle ou à leur influence, comme le marché du travail, les programmes gouvernementaux et la sécurité du revenu, l'accessibilité aux soins de santé et les régimes d'assurance, pour n'en nommer que quelques-uns (voir le tableau 9.12). Les caractéristiques des ménages et de leurs membres, comme l'âge, la santé, l'éducation, les compétences professionnelles, le genre et les réseaux familiaux étendus influencent également les choix entre l'adaptation *in situ* et la migration par certains ou tous les membres du ménage (voir le tableau 9.12).

9.5.3 Migration actuelle et estimée liée aux changements climatiques

Les estimations du nombre mondial de personnes évacuées ou qui ont migré pour des raisons liées aux changements climatiques comportent une incertitude importante. Les données sur la migration à l'échelle mondiale sont superficielles et il est difficile d'attribuer la causalité dans ces ensembles de données. La plupart des migrations, qu'elles soient d'origine climatique ou autres, sont internes (à l'intérieur des pays) et reflètent des déplacements des zones rurales vers les zones urbaines (Samers, 2010). Les estimations des migrations internationales produites par la Division de la population du Département des affaires économiques et sociales de l'ONU représentent la norme acceptée; elles font état de 258 millions migrants internationaux dans le monde en 2017 (Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, 2017).

Ces estimations sont prudentes et sous-estiment probablement les niveaux réels puisqu'elles ne tiennent pas compte, par exemple, de la migration de retour (Azose et Rafary, 2019).

Les données les plus fiables sur les migrations liées aux changements climatiques proviennent des estimations annuelles du Centre interne de surveillance des catastrophes sur le nombre de personnes déplacées à l'intérieur du pays par suite de catastrophes naturelles. Ces données comprennent à la fois les personnes évacuées temporairement et indéfiniment, ainsi que les dangers climatiques et non climatiques. Depuis que le Centre interne de surveillance des catastrophes a commencé à publier des statistiques annuelles en 2008, une moyenne de 21 millions de personnes ont été déplacées par année en raison de catastrophes météorologiques¹. Les évacuations les plus importantes liées aux conditions météorologiques ont eu lieu en Inde, aux Philippines, au Bangladesh, en Chine et aux États-Unis; en 2019, les principales causes des évacuations dans le monde ont été les tempêtes et les inondations, qui ont touché 13 millions et 10 millions de personnes dans le monde, respectivement. Les statistiques du Centre interne de surveillance des catastrophes sous-estiment les flux migratoires environnementaux à l'échelle mondiale, car elles enregistrent principalement les personnes évacuées involontairement dans leur pays d'origine en raison de phénomènes catastrophiques importants, et ne tiennent pas compte : 1) des personnes évacuées à cause de phénomènes de moindre importance ou en cours; 2) des personnes qui déménagent pour des raisons d'adaptation au-delà d'une catastrophe; ou 3) des migrants internationaux.

Les migrations et les évacuations liées aux changements climatiques sont généralement observées chez les populations qui pratiquent l'agriculture de subsistance, les éleveurs nomades et d'autres groupes qui poursuivent des moyens de subsistance fondés sur les ressources (p. ex. les pêcheurs) dans les pays les moins développés, et peuvent prendre la forme de migrations temporaires, saisonnières et à long terme (Afifi et coll., 2016; Gautier et coll., 2016; Gray et Wise, 2016). De nombreux pays parmi les moins développés ont déjà des taux élevés de migration rurale-urbaine pour des raisons sociales et économiques; les phénomènes et les conditions climatiques extrêmes amplifient ces taux déjà élevés, ce qui exerce une forte pression sur les services municipaux (Ishtiaque et Nazem, 2017). Cela peut à son tour réduire la qualité de vie et la sécurité humaine dans les villes et peut conduire les professionnels urbains à poursuivre leur migration à l'étranger, comme cela a été observé dans l'immigration des travailleurs qualifiés au Canada en provenance du Bangladesh, d'Haïti et de plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest (voir la figure 9.11; McLeman et coll., 2017; Mezdour et coll., 2015; Veronis et McLeman, 2014). Une telle migration profite au pays d'accueil, mais représente une perte de capital humain pour la collectivité d'origine.

1 Visitez <<http://www.internal-displacement.org/>> pour consulter les plus récentes statistiques. Au moment de rédaction du présent chapitre, les statistiques du Centre interne de surveillance des catastrophes les plus récentes disponibles étaient celles de 2019.

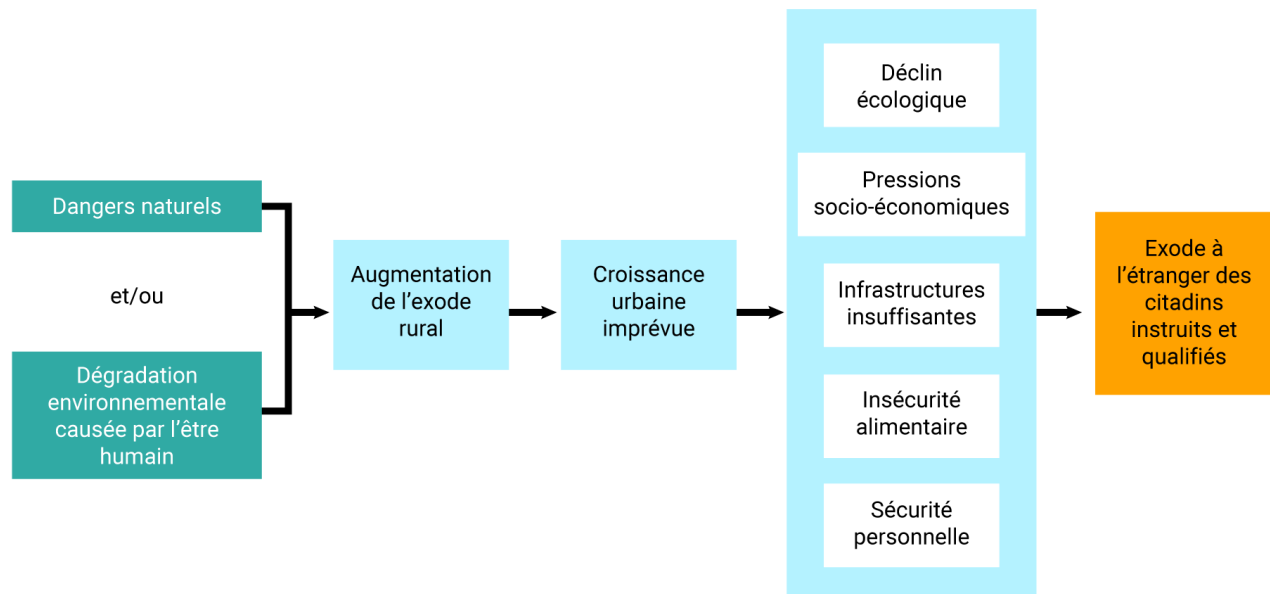


Figure 9.11 : Effets en cascade de la migration rurale à urbaine induite par l'environnement dans les pays les moins développés. Source : Adapté de Veronis et McLeman, 2014.

Les migrations climatiques ne se produisent pas exclusivement dans les pays les moins développés. Aux États-Unis, l'ouragan Katrina en est l'exemple le plus connu. La population de La Nouvelle-Orléans a diminué de 40 % par rapport à ce qu'elle était immédiatement avant l'événement (DeWaard et coll., 2016). À l'heure actuelle, le gouvernement fédéral des États-Unis évacue activement plusieurs collectivités autochtones en Alaska, qui se trouvent dans des endroits en pleine érosion (Marino et Lazrus, 2015), ainsi que la collectivité du delta du Mississippi de l'île de Jean Charles, en Louisiane. Ces efforts sont coûteux; le coût de la réinstallation des habitants de l'île à Jean Charles, par exemple, atteint 43 millions de dollars US (Sack et Schwartz, 2018).

Les niveaux et les modèles futurs de la migration climatique sont difficiles à estimer, car ils dépendent de l'effet combiné de nombreux facteurs (Beneviste et coll., 2020; McLeman, 2019), principalement :

- des niveaux futurs des émissions de gaz à effet de serre (GES) et leurs répercussions sur les températures et les tendances des précipitations;
- des taux futurs de variation de la fréquence et de la gravité des tempêtes, des inondations et des sécheresses;
- des taux futurs d'élévation relative du niveau de la mer;
- des niveaux de croissance future de la population dans les zones fortement exposées aux risques climatiques;

- de la croissance socio-économique future, des progrès vers les objectifs de développement durable des Nations Unies et du succès du renforcement des capacités d'adaptation dans les pays moins développés;
- des futures politiques d'immigration et de contrôle des frontières des pays développés.

Une étude récente de la Banque mondiale (Rigaud et coll., 2018) a estimé que jusqu'à 143 millions de personnes pourraient être évacuées à cause des changements climatiques dans les pays les moins développés d'ici le milieu du siècle en l'absence de mesures concertées visant à réduire les émissions mondiales de GES et à accélérer le développement durable. En combinant les données du Centre interne de surveillance des catastrophes sur les déplacements dus aux inondations avec des scénarios normalisés pour les émissions de GES, le développement socio-économique et la croissance démographique, il est estimé que chaque degré Celsius de réchauffement augmente de 50 % les risques de déplacement à l'échelle mondiale (Kam et coll., 2021). D'ici 2060, on estime qu'un milliard de personnes vivront dans des zones côtières à faible élévation, soit des zones situées à moins de 10 m au-dessus du niveau moyen de la mer, et seront donc exposées à une élévation du niveau de la mer et à des risques côtiers accélérés (Neumann et coll., 2015). La plus grande partie de la population en péril vit dans des deltas côtiers densément peuplés au Bangladesh, en Chine, en Inde, en Indonésie et au Vietnam; les populations côtières en Afrique et aux États-Unis croissent également rapidement (Merkens et coll., 2016). Par exemple, la population du sud-est de la Floride devrait atteindre près de 10 millions d'habitants d'ici 2030 (Curtis et Schneider, 2011). Une élévation moyenne du niveau de la mer de 0,8 m d'ici la fin du présent siècle nécessiterait la réinstallation de jusqu'à 4,2 millions de personnes aux États-Unis (Hauer et coll., 2020, 2016). Il est urgent de poursuivre la recherche et la modélisation afin de générer des projections statistiques sur les migrations futures liées aux changements climatiques à l'échelle mondiale et régionale, ainsi qu'un éventail de scénarios climatiques et de développement (McLeman, 2019). L'incertitude relative à ces projections restera probablement élevée, rendant la recherche sur les conditions qui façonnent les choix de migration et sur l'efficacité des stratégies adaptatives peut-être encore plus pressante (McMichael et coll., 2020).

9.5.4 Perspectives pour le Canada

Le Canada est une destination attrayante pour les migrations internationales, et cela sera amplifié par les impacts néfastes des changements climatiques. Les politiques d'immigration du Canada contrastent de plus en plus avec les tendances récentes observées en l'Australie, dans l'Union européenne et aux États-Unis à l'égard de politiques d'immigration moins libérales, du niveau plus élevé de leurs mesures coercitives frontalières et de criminalisation des migrations non autorisées (de Haas et coll., 2019; McLeman, 2019). Ces dernières tendances sont en contradiction avec les besoins de développement international dans un avenir perturbé par les changements climatiques. Le *Pacte mondial des Nations Unies pour une migration sûre, ordonnée et régulière* de 2018, dont le Canada est signataire, fournit des orientations et des objectifs politiques instructifs pour s'assurer que la gestion des migrations liées aux changements climatiques soit effectuée efficacement, qu'elle avantage les zones d'envoi et de réception, et qu'elle protège les droits des migrants et ceux de leurs familles (McLeman, 2019). La plupart des migrations internationales, y compris des cas de migration liée aux changements climatiques, se produisent entre des pays dont les frontières sont

contiguës (Stojanov et coll., 2017; Hunter et coll., 2013). La situation du Canada est anormale du fait que cinq de ses six plus grands pays sources d'immigration se trouvent en Asie et au Moyen-Orient (Inde, Philippines, Chine, Syrie et Pakistan), les États-Unis représentant la quatrième plus grande source d'immigrants permanents.² On s'attend à ce que les plus grands pays d'où proviennent les migrants internationaux du Canada connaissent des risques accrus de phénomènes météorologiques extrêmes, de sécheresses, de pénurie d'eau et de chaleur soutenue d'ici 2050 et au-delà, et (à l'exception de la Syrie) que d'importantes populations résident dans des régions côtières à faible altitude (GIEC, 2014).

La plupart des personnes qui cherchent à immigrer au Canada pour des raisons liées aux changements climatiques sont susceptibles d'avoir des liens familiaux ou sociaux au Canada qui peuvent faciliter leur voyage et leur installation, et les ressortissants de pays tiers (probablement d'Amérique latine et des Caraïbes) qui entrent au Canada en passant par les États-Unis sont en quête d'une admission comme réfugiés ou pour des raisons humanitaires. Pour ce dernier groupe, le nombre d'arrivées futures sera fortement influencé par les politiques d'immigration et frontalières des États-Unis (McLeman, 2019). La plupart des migrations et des déplacements futurs liés aux changements climatiques aux États-Unis seront probablement internes, mais l'ampleur même des déplacements involontaires dans le cadre des scénarios d'émissions élevées projetés par Hauer et coll. (2017) et les perturbations socio-économiques qui pourraient en découler justifient une surveillance des effets potentiels sur les flux de migration entre le Canada et les États-Unis. Il est peu probable que les immigrants possédant des liens familiaux soumettent des demandes excessives aux services sociaux canadiens. Les populations les plus pauvres et les plus vulnérables des pays les moins développés n'ont généralement pas les moyens financiers nécessaires pour entreprendre des migrations à long terme vers le Canada ou d'autres pays à revenus élevés, et elles sont plus susceptibles de se trouver piégées dans leur pays d'origine (Zickgraf, 2018; Black et coll., 2011). L'aide internationale pour s'attaquer aux causes sous-jacentes des migrations involontaires liées aux changements climatiques à court terme aidera les pays les moins développés à devenir plus résilients à long terme et à accroître leurs chances d'atteindre les objectifs de développement durable (Rigaud et coll., 2018). Les projets d'Affaires mondiales Canada qui traitent de la pénurie d'eau dans les régions rurales de l'Éthiopie sont un exemple pratique de programmes de développement futur de ce type (Gouvernement du Canada, 2017a).

Les programmes canadiens d'immigration et de réfugiés ne tiennent pas compte des changements climatiques comme facteur d'admissibilité, et la *Convention des Nations Unies relative au statut des réfugiés* ne s'applique pas aux personnes qui migrent pour des raisons liées aux changements climatiques. Le Canada doit s'attendre, dans les décennies à venir, à une pression croissante de la communauté internationale pour accepter la réinstallation des personnes évacuées à cause des changements climatiques dans des pays qui ne représentent pas une source de migration historiquement importante pour le Canada. Les petits États insulaires sont des candidats évidents, étant donné les options limitées d'adaptation et de réinstallation interne qui s'offrent à eux en regard de l'élévation du niveau de la mer (Kelman, 2015). Une pétition présentée par une famille de Kiribati au Comité des droits de l'homme de l'ONU, qui lutte contre sa déportation de la Nouvelle-Zélande sur le motif que leur île natale n'est plus viable en raison de l'élévation du niveau de la mer, a abouti à une décision selon laquelle les pays d'accueil ne devraient pas rapatrier les personnes dont la vie est menacée par les impacts des changements climatiques (Comité des droits de l'homme de l'ONU, 2020). Contrairement à la Nouvelle-Zélande, le Canada n'a pas encore reçu un nombre important de demandes de

2 Voir les statistiques d'Immigration, Réfugiés et Citoyenneté Canada à <<https://www.canada.ca/fr/immigration-refugies-citoyennete/organisation/rapports-statistiques.html>>

résidence permanente de réfugiés ou pour des raisons humanitaires, mais on peut s'attendre à ce que cela change à mesure que les effets des changements climatiques s'intensifient dans les pays où l'instabilité politique est courante (Veronis, 2014).

L'association potentielle entre les conditions climatiques défavorables, les migrations et les épisodes de violence et de conflit dans les pays les moins développés fait l'objet d'une enquête active (voir la section 9.6.2). La violence liée aux changements climatiques entre les groupes qui se disputent des ressources peut mener directement ou indirectement à des migrations internes et internationales dans les régions touchées (Abel et coll., 2019). Les migrations liées aux changements climatiques peuvent augmenter ou diminuer les risques de violence et de conflit dans les pays les moins développés, en fonction des circonstances locales (Freeman, 2017), mais rien ne prouve que les migrations liées aux changements climatiques déclenchent des conflits entre les États. Des recherches menées en Afrique de l'Est révèlent que les migrants climatiques sont plus susceptibles d'être des victimes que des auteurs de violence (Linke et coll., 2018). Une conclusion récurrente dans les recherches publiées indique que la relation entre les changements climatiques et les conflits n'est pas déterminée, et considère qu'il y a de nombreux points d'intervention avant l'apparition de la violence (Mach et coll., 2019; Selby et coll., 2017; Brzoska et Fröhlich, 2016; Burrows et Kinney 2016). Les impacts des changements climatiques dans les pays les moins développés d'Afrique subsaharienne, où l'eau est rare et où la situation politique est instable, pourraient peut-être générer des demandes futures d'intervention internationale (voir l'étude de cas 9.4).

Étude de cas 9.4 : Le rôle des changements climatiques dans les conflits et les migrations

En août 2018, du personnel des Forces armées canadiennes a été déployé au Mali pour appuyer la Mission multidimensionnelle de stabilisation intégrée des Nations Unies pour une période de 12 mois. Le Mali est une nation subsaharienne semi-aride où l'agriculture est la principale base de subsistance de la majorité de la population. Les facteurs environnementaux et les conflits liés à l'utilisation des terres ont représenté des facteurs importants dans l'émergence et la persistance des conflits dans ce pays. De graves sécheresses à la fin des années 1980 ont provoqué des niveaux élevés d'exode rural (Findley, 1994). La migration entre les zones rurales et urbaines pour des raisons socio-économiques est courante. Toutefois, les phénomènes climatiques défavorables ont modifié les tendances et la durée des mouvements de population à court terme (Liehr et coll., 2016). Des conditions plus sèches dans un climat en changement pourraient réduire le rendement des cultures et le fourrage destiné au bétail (Butt et coll., 2005).

Des études sur le conflit au Mali concluent que les phénomènes climatiques, comme la sécheresse, ne causent pas directement de violence et de conflits, mais qu'ils peuvent y contribuer. Par exemple, dans la région malienne de Mopti, quatre facteurs ont conduit les éleveurs nomades à rejoindre les groupes militants djihadistes qui contestent l'autorité du gouvernement (Benjaminsen et Ba, 2019; Benjaminsen et coll.; 2012; Benjaminsen, 2008) :

- les sécheresses, qui ont conduit à une migration accrue des jeunes hommes touaregs vers la Libye, où ils se sont radicalisés;

- l’empiètement de l’agriculture sur les terres traditionnellement utilisées par les éleveurs nomades a limité la mobilité de ces derniers ainsi que celle du bétail;
- un manque de structures de gouvernance saines et de dispositions claires en matière de régime foncier dans les zones rurales;
- la corruption et la recherche de rentes prédatrices dans les zones rurales par des fonctionnaires, souvent sous le couvert de mesures de lutte contre la désertification.

La promotion d’une meilleure gouvernance et d’une meilleure capacité d’adaptation dans les zones rurales est essentielle au succès à long terme des interventions internationales au Mali. Cela comprend des réformes du régime foncier qui reconnaissent les petits propriétaires ruraux et des programmes qui concilient les intérêts des éleveurs nomades avec ceux des agriculteurs. Les récentes recherches sur la sécheresse et la sécurité alimentaire au Mali rapportent que la diversification de l’élevage et de l’agriculture représente une voie de développement importante pour accroître la résilience climatique des Maliens ruraux (Giannini et coll., 2017).

9.6 Une demande accrue d’aide internationale est attendue

Les changements climatiques peuvent nuire à la sécurité humaine dans les pays en développement et accroître les demandes d’aide internationale du Canada. Le Canada s’attaque aux risques climatiques relatifs aux objectifs de développement et d’aide humanitaire en fournissant une aide financière et technique pour l’adaptation et la résilience aux changements climatiques.

Les pays en développement ont une moins grande capacité à s’adapter et sont par conséquent plus vulnérables aux effets des changements climatiques que les pays développés. Les raisons en sont notamment les défis structurels qui conduisent à la marginalisation politique ou économique, l’affaiblissement des institutions, la dégradation de l’environnement, les insuffisances dans les infrastructures existantes et les différentes capacités à payer pour l’adaptation. Les changements climatiques peuvent nuire à la sécurité humaine et accroître les demandes d’aide internationale. Ils peuvent également agir comme un multiplicateur des menaces et des pressions existantes sans rapport avec le climat, en augmentant l’exposition aux préjudices, aux troubles sociaux et à la suppression des libertés et des capacités à vivre dans la dignité. La stabilité mondiale et le bien-être des citoyens dans les pays étrangers sont depuis longtemps au cœur de la politique étrangère du Canada. À mesure que les impacts des changements climatiques augmenteront et s’intensifieront, le Canada devra s’attendre à une demande accrue d’aide internationale dans le futur, y compris pour répondre aux crises humanitaires, en particulier dans les pays où il est déjà actif. En prévision de ces pressions, le Canada collabore avec ses partenaires des pays en développement pour aborder les impacts des changements climatiques par le biais de ses activités d’aide internationale. Cela comprend de contribuer au renforcement des capacités des nations vulnérables à s’adapter aux changements climatiques par le biais de financements et de programmes

qui, entre autres résultats, facilitent l'utilisation des connaissances, des compétences, des infrastructures et de la technologie nécessaires à la construction de la résilience climatique et augmentent l'accès à ceux-ci.

9.6.1 Introduction

La stabilité mondiale et le bien-être des citoyens dans les pays étrangers sont des principes de base de la politique étrangère du Canada (Seyle, 2019; Bernard, 2006), tout comme le contexte local dans la collaboration avec la communauté internationale pour assurer la stabilité et le bien-être (Gouvernement du Canada, 2017a, b). Les effets des changements et de la variabilité du climat affectent déjà les collectivités à l'échelle mondiale, en particulier dans les pays les moins développés. La présente section examine les répercussions possibles des changements climatiques sur les priorités du Canada en matière d'aide internationale. Elle décrit la relation entre les changements climatiques et la sécurité humaine, examine les répercussions des changements climatiques sur les demandes d'aide internationale et évalue les données probantes relatives aux mesures prises par le Canada à ce jour.

9.6.2 Le lien climat-sécurité

Les changements climatiques auront davantage d'impact sur les pays en développement que sur les pays développés en raison des différences sur les plans de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation (Ahmadalipour et coll., 2019; King et Harrington, 2018; Adger et coll., 2014), entraînant dans certains cas de l'insécurité humaine. La sécurité humaine est une condition qui existe lorsque le minimum vital des vies humaines est protégé, et lorsque les personnes ont la liberté et la capacité de vivre dans la dignité (Adger et coll., 2014, p. 759). L'insécurité humaine englobe donc les menaces pour la santé et le bien-être, l'inclusion économique et politique et les menaces pour la culture. Les mécanismes par lesquels les changements climatiques peuvent mener à l'insécurité humaine dans les pays en développement sont un domaine d'étude actif au Canada et dans le reste du monde (de Souza et coll., 2015; Busby et coll., 2014; Ericksen et coll., 2011). Ces mécanismes se rapportent à des tendances complexes et multiples qui affectent la capacité des pays à faire face aux chocs et à s'adapter à long terme, et ils comprennent les défis structurels qui conduisent à la marginalisation politique ou économique, à l'affaiblissement des institutions, à la dégradation de l'environnement, à l'inadéquation des infrastructures existantes, à des niveaux variables de richesse pour compenser les coûts d'adaptation aux impacts climatiques (Harrington et coll., 2016), à des changements démographiques (p. ex. les populations croissantes et l'augmentation de la migration rurale-urbaine) et à d'autres facteurs importants (p. ex. une expérience de conflit antérieure).

Les recherches visant à évaluer les liens entre les changements climatiques et les conflits violents en particulier se sont améliorées au cours des dernières décennies. Les experts en sécurité s'accordent généralement sur le fait que les changements climatiques constituent un « multiplicateur de menace » qui exacerbe l'instabilité politique et les conflits existants, ou qui pourrait éventuellement faire basculer des pays stables dans l'instabilité. Bien que le concept ajoute de la complexité à la tâche de comprendre les relations spécifiques entre les changements climatiques et les conflits (Busby, 2020), le fait d'établir un lien entre l'environnement et les conflits sans saisir les mécanismes sous-jacents en jeu peut conduire à

des interventions inefficaces. Les recherches menées dans les années 1990 (Homer-Dixon, 1991) sans tenir compte de cette optique ont conduit certains chercheurs et décideurs à supposer que la rareté avait directement mené à des conflits. Un autre écart de recherche a été le recours excessif à un petit nombre d'études de cas provenant de l'Afrique subsaharienne et du Moyen-Orient, comme les conflits au Darfour et en Syrie, pour dégager des idées générales (Adams et coll., 2018; Hendrix, 2018). On compte désormais sur un solide échantillonnage de recherches qui démontre que le climat est lié à des conflits armés qui se produisent dans les pays, mais qu'il n'est pas le plus important facteur de conflits à grande échelle (Mach et coll., 2019; Hsiang et Burke, 2013). La recherche sur le lien entre le climat et les conflits porte de plus en plus sur les rôles importants de la gouvernance et des institutions, de la capacité d'adaptation et du comportement coopératif (Koubi, 2019; Gilmore et coll., 2018; Gilmore, 2017; Theisen, 2017; Buhaug, 2016; Buhaug, 2015; Rüttinger et coll., 2015; Meier, 2013; Gleditsch, 2012).

Les efforts de recherche actuels servent à aller au-delà du concept de « multiplicateur de menace » afin de déterminer des interventions propres au contexte, capables de traiter les risques de conflits violents liés aux changements climatiques (Busby, 2020). D'après des recherches menées par des experts, les travaux récents indiquent que les facteurs liés aux changements climatiques joints aux conflits armés internes sont un faible développement socio-économique, une diminution de la capacité de l'État et des inégalités intergroupes (Mach et coll., 2019). D'autres ont constaté que les pays avec des taux élevés d'exclusion politique et une forte dépendance à la main-d'œuvre agricole risquent des conflits prolongés ou aggravés et des situations d'urgence humanitaire lorsqu'ils sont confrontés à des dangers liés aux changements climatiques comme de graves sécheresses (Busby et von Uexkull, 2018). Il est essentiel de tenir compte des facteurs locaux lors de l'évaluation de la manière dont les changements climatiques façonnent les risques de conflits. Par exemple, en Afrique subsaharienne, les effets de la sécheresse sur les cultures agricoles et sur la disponibilité de l'eau et du fourrage pour le bétail sont peu associés aux flambées de conflits violents, car les facteurs politiques et socio-économiques ont une influence plus directe (Ayana et coll., 2016; Buhaug, 2015; Buhaug et coll., 2014). Les efforts d'atténuation des changements climatiques associés au changement d'affectation des terres peuvent ajouter au risque de conflit (Froese et Schilling, 2019), ce qui souligne la nécessité de tenir compte des conflits dans la conception d'initiatives visant à réduire les émissions de GES ou à améliorer les puits de carbone.

Le lien entre les conflits et les migrations liés aux changements climatiques est de plus en plus étudié dans le but de comprendre cette relation complexe (Boas et coll., 2019; Brzoska et Fröhlich, 2016) et de faire correspondre les réponses humanitaires aux besoins (voir la section 9.6). Un exemple où le récit du conflit a été étudié et contesté parmi les chercheurs a trait à la contribution de la pénurie d'eau due à la sécheresse prolongée à l'émergence du conflit civil syrien (Ide, 2018; Feitelson et Tubi, 2017; Selby et coll., 2017; Kelley et coll., 2015; Gleick, 2014). L'analyse statistique des facteurs climatiques et non climatiques dans les modèles mondiaux de conflit et de recherche d'asile de 2006 à 2015 a révélé que les conditions de sécheresse étaient probablement secondaires dans la génération de conflits et de migrations de recherche d'asile depuis la Syrie de 2010 à 2012, les facteurs non climatiques jouant le rôle principal (Abel et coll., 2019). Les phénomènes extrêmes et les conditions climatiques en changement interagissent avec des facteurs politiques, économiques, sociaux, culturels et autres et peuvent générer ou exacerber des conflits et des migrations forcées, mais un conflit et une crise de réfugiés de l'ampleur de celle de la Syrie ne sont pas uniquement attribuables aux facteurs climatiques.

9.6.3 Demandes d'aide internationale

Une augmentation des demandes d'aide internationale en raison des changements climatiques est prévisible, même si les voies de causalité sont complexes. Les changements climatiques peuvent entraîner des crises humanitaires complexes liées aux menaces à la sécurité alimentaire, aux moyens de subsistance, à la santé publique, à la mobilité et à la stabilité géopolitique (Croix-Rouge norvégienne, 2019). Au-delà de l'aide humanitaire et des organisations de développement, un certain nombre d'institutions de sécurité nationale et d'autres institutions internationales notent que les changements climatiques pourraient nécessiter une aide internationale supplémentaire, y compris le Département américain de la Défense (U.S. Department of Defense, 2014), le bureau exécutif du Président des États-Unis (United States, Exec. Order 14008, 2021) et la communauté du renseignement (Coats, 2019), les centres d'études et de recherches (Guy et coll., 2020) et le Conseil de sécurité des Nations Unies (ONU News, 2019) et le G7 (CCNUCC, 2015). La Politique d'aide internationale féministe du Canada attire l'attention sur les effets déstabilisants que les changements climatiques peuvent avoir sur les communautés les plus pauvres et les plus vulnérables (Gouvernement du Canada, 2017a). De même, la politique de défense Protection, Sécurité, Engagement du Canada reconnaît la possibilité que les changements climatiques aggravent les fragilités existantes dans certains pays, augmentant les tensions et contribuant ainsi aux crises humanitaires (Gouvernement du Canada, 2017b).

Jusqu'à présent, de nombreux pays en développement ont fait des progrès significatifs quant à l'adaptation aux changements climatiques et à la réduction des risques de catastrophes liées aux changements climatiques, et il y a d'importantes leçons à en tirer pour les pays développés (voir l'étude de cas 9.5). Les progrès des pays dans la définition de leurs priorités d'adaptation, l'établissement de structures de gouvernance qui facilitent les efforts d'adaptation, la mise en œuvre de projets et de programmes axés sur l'adaptation et l'optimisation du financement des efforts d'adaptation prioritaires sont très variables (Parry et Terton, 2016). Dans certains cas, les mesures à l'échelle communautaire dépassent les mesures prises à l'échelle nationale. Il faut donc veiller à ne pas généraliser la résilience climatique des pays en développement sur la base de leurs seuls efforts nationaux.

Toutefois, pour de nombreux pays en développement à faible revenu, y compris les pays les moins développés, renforcer la résilience climatique et s'adapter aux impacts des changements climatiques est inabordable sans l'aide de partenariats avec des pays développés. Des évaluations exactes et cohérentes des coûts économiques globaux des impacts des changements climatiques sur les pays en développement sont en cours. Néanmoins, les milieux de la recherche et des politiques conviennent généralement que les coûts seront importants. La Banque mondiale et la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ont estimé les besoins d'investissement en matière d'adaptation dans les pays en développement d'ici 2030 de l'ordre de 60 à 100 milliards de dollars par an (Fankhauser et coll., 2016). En outre, il est de plus en plus admis que l'adaptation aux changements climatiques devrait être intégrée aux efforts réguliers d'aide internationale. Il existe également un potentiel pour les considérations climatiques de concurrencer les investissements pour les priorités de développement en cours (p. ex. soins de santé, bien-être social et éducation).

9.6.4 Réaction et perspectives du Canada

La réaction du Canada aux menaces accrues que posent les changements climatiques aux pays en développement au cours de la dernière décennie a porté sur la contribution au financement mondial à la lutte aux changements climatiques (voir l'encadré 9.3), le soutien à la génération de connaissances pertinentes pour l'adaptation dans les pays en développement et la détermination des priorités d'action qui traitent des risques climatiques par le biais d'activités d'aide internationale. L'approche du Canada continue d'évoluer, comme l'illustre le mandat de 2019 du ministre de la Défense nationale, qui s'est engagé à tirer parti de l'expertise des Forces armées canadiennes pour aider d'autres pays soumis à de plus grands risques de catastrophes résultant des changements climatiques (Trudeau, 2020). Parce que la frontière entre le travail humanitaire post-catastrophe et les interventions de développement pour réduire la pauvreté devient de plus en plus floue, une meilleure collaboration entre ces deux communautés de pratique pourrait aider à s'attaquer aux causes profondes de la vulnérabilité et contribuer à l'adaptation à long terme (Marin et Naess, 2017).

Encadré 9.3 : Le financement climatique

Le financement climatique renvoie au soutien financier pour les mesures d'atténuation et d'adaptation qui traitent des changements climatiques. Il diffère de l'aide publique au développement en ce sens que le financement climatique est destiné à s'ajouter aux engagements internationaux en matière de développement. L'Accord de Paris appelle les Parties à apporter une aide financière à la CCNUCC, avec davantage de ressources financières pour les Parties moins riches et plus vulnérables. Le financement climatique est un outil important pour aider à renforcer la résilience des pays pour lesquels les coûts d'adaptation pourraient s'avérer inabordables. En tant que Partie prenante à la CCNUCC et à l'Accord de Paris, le Canada a l'obligation d'apporter une contribution financière aux pays en développement pour appuyer leurs efforts d'adaptation aux changements climatiques.

Le plaidoyer des gouvernements et des organisations non gouvernementales a conduit les pays développés à s'engager à recueillir 100 milliards de dollars par an d'ici 2020 en provenance de sources publiques et privées pour financer des mesures pour adresser les changements climatiques dans les pays en développement, mais les progrès ont été mitigés pour atteindre cet objectif (Banque africaine de développement et coll., 2019; OCDE, 2019, 2018a-c, 2016). Des progrès ont été réalisés dans le financement total mis à disposition par les pays développés de 2013 à 2017, les investissements annuels augmentant jusqu'à 71,2 milliards de dollars américains par an par rapport à 52,2 milliards de dollars américains, mais un apport financier significatif est allé à la lutte aux émissions de GES (73 %) qui a été priorisée par rapport au financement de l'adaptation (19 %) en 2017 (OCDE, 2019).

De plus amples renseignements sont disponibles sur le site Web de la CCNUCC à l'adresse suivante : <https://unfccc.int/fr/node/15868>.

Le leadership du Canada en matière de financement climatique mondial a varié au fil des ans. Plus récemment, le Canada s'est engagé à contribuer pour 2,65 milliards de dollars canadiens de 2016 à 2021 au financement mondial climatique (Gouvernement du Canada, 2018). Entre 2016 et 2018, le Canada s'est classé au 9^e rang parmi les 24 pays de l'OCDE qui contribuent au financement climatique (Tomlinson, 2020). Le classement du Canada pour cette période tombe au 14^e parmi les 24 pays donateurs de l'OCDE lorsqu'on tient compte de la contribution du financement climatique par rapport au revenu national brut des pays (Tomlinson, 2020). Le suivi des flux de financement climatique est une science inexacte (Furlow et coll., 2011), notamment parce qu'il peut être impossible d'isoler le financement supplémentaire destiné à l'action climatique, en particulier lors du suivi du financement pour l'adaptation aux changements climatiques, compte tenu des liens étroits qui existent entre l'adaptation et les investissements de développement plus larges (Church et Hammill, 2019). La transparence dans le suivi et la présentation des rapports sur le financement climatique est un objectif permanent des travaux de la CCNUCC et de l'OCDE (Clapp et coll., 2012).

Le Canada prend des mesures pour renforcer la résilience des pays en développement grâce à des programmes de développement et d'aide. Pour la période de 2017 et 2018, le Canada a fourni 1,5 milliard de dollars canadiens aux pays en développement pour la lutte contre les changements climatiques, dont 704 millions de dollars canadiens ont contribué à l'engagement de financement climatique du gouvernement du Canada de 2,65 milliards de dollars canadiens; 246 millions de dollars canadiens ont contribué aux projets réguliers d'aide internationale du gouvernement du Canada avec un volet sur les changements climatiques; 17 millions de dollars canadiens ont été associés à un soutien provincial et municipal; 509 millions de dollars canadiens ont été investis dans Exportation et développement Canada grâce à la mobilisation de fonds privés; et 30 millions de dollars américains ont été fournis par FinDev Canada, une institution financière spécialisée dans le développement nouvellement créée (Gouvernement du Canada, 2020). De ces investissements, 192 millions de dollars canadiens ciblaient l'adaptation aux changements climatiques, comparativement à 315 millions de dollars canadiens pour les initiatives de réduction des émissions de GES, et 498 millions de dollars canadiens ont été consacrés à des initiatives qui rejoignaient tant les priorités en matière d'adaptation que celles de réduction des émissions de GES. Cet investissement dans l'adaptation comprend la contribution de 30 millions de dollars canadiens au Fonds pour les pays les moins avancés, qui répond aux besoins urgents des pays les moins riches et les plus vulnérables en matière d'adaptation. Les projets financés par le Canada comprennent 100 millions de dollars canadiens à l'appui de l'expansion de la couverture d'assurance contre les risques climatiques dans les pays vulnérables aux changements climatiques, dans le but d'aider les collectivités à reconstruire mieux et plus rapidement à la suite de catastrophes naturelles comme les ouragans et les inondations (Gouvernement du Canada, 2020). Les principaux bénéficiaires actuels de l'aide publique au développement du Canada sont Haïti, le Mali, le Soudan du Sud, la Syrie et la Tanzanie, qui devraient subir d'importants impacts climatiques dans les années à venir. Cela souligne le potentiel de demandes accrues d'aide au développement liée aux changements climatiques dans les années à venir. L'étude de cas 9.4 de la section précédente illustre comment les changements climatiques ont pu jouer un rôle dans l'augmentation des demandes d'aide que le Mali a acheminées au Canada.

Conformément à la Politique d'aide internationale féministe, les investissements du Canada au financement climatique sont fortement axés sur l'égalité des sexes et sur l'autonomisation des femmes et des filles. L'attention portée à l'égalité entre les sexes est importante, car les données montrent que la vulnérabilité aux changements climatiques des femmes diffère de celle des hommes et qu'ils ont des préférences différentes en matière de solutions d'adaptation, les femmes et les filles continuant d'être affectées de

façon disproportionnée par les effets néfastes des changements climatiques (Rao et coll., 2019; Assan et coll., 2018; Vincent et coll., 2010). Les projets qui ne font aucune distinction entre les genres ont le potentiel d'accroître les disparités entre les sexes et de perpétuer des défis structurels qui limitent l'accès aux ressources et au pouvoir.

Le Canada a également contribué à alimenter les connaissances et la capacité de recherche locale sur la vulnérabilité aux impacts des changements climatiques et les solutions d'adaptation possibles dans les pays en développement. Le groupe de recherche fondé dans le cadre de l'Initiative de recherche concertée sur l'adaptation en Afrique et en Asie, financée conjointement par le Centre de recherches pour le développement international (CRDI) du Canada et le Department for International Development du Royaume-Uni (CRDI, 2019), en est un exemple. Parallèlement à de nombreuses autres initiatives menées par le CRDI, cet effort de collaboration donne lieu à des leçons, à des pratiques exemplaires et à des innovations applicables aux investissements futurs du Canada dans l'aide au développement (voir l'étude de cas 9.5). Ces leçons comprennent des approches pratiques visant à intégrer la réduction des risques de catastrophe et l'adaptation aux changements climatiques dans les conceptions de projets et de programmes axées sur les contextes locaux afin d'encourager la poursuite des avantages à faible émission de carbone et d'éviter d'induire une adaptation inappropriée (Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2017; Adger et coll., 2014).

Étude de cas 9.5 : Recherches sur les initiatives de mise en commun des risques face aux changements climatiques en Afrique du Sud

Les inondations constituent un risque commun et dommageable lié aux changements climatiques en Afrique du Sud (Zuma et coll., 2012). Dans le Cap-Occidental, par exemple, les dommages urbains prévus annuellement sont estimés à 66 millions de dollars US (Institut mondial des ressources, 2017). La stratégie de financement pour les risques de catastrophe de l'Afrique du Sud est principalement axée sur une forme d'autoassurance. Les changements climatiques mettront à l'épreuve la résilience de cette stratégie. L'utilisation d'outils de transfert des risques, comme la mise en commun des risques, est une option pour accroître la capacité financière des gouvernements provinciaux si les pertes deviennent exorbitantes. La mise en commun des risques a la possibilité d'étendre la couverture aux personnes qui ne sont pas couvertes par l'assurance commerciale et agit ainsi comme un filet de sécurité.

Financé par le Centre de recherches pour le développement international (CRDI) du Canada, le projet de mise en commun des risques municipaux (CRDI, 2020) examine la faisabilité de créer des bassins de risques infranationaux comme mécanisme de gestion des risques climatiques, dans le but d'offrir des conseils à d'autres instances. Il est dirigé par l'Université de KwaZulu-Natal, approuvé par le gouvernement sous-national du Cap-Occidental, et réunit un certain nombre de partenaires, dont SouthSouthNorth et la Munich Climate Insurance Initiative (Initiative d'assurance climatique de Munich).

La figure 9.12 illustre la structure proposée pour un projet de mise en commun des risques à l'échelle municipale. Un mécanisme de mise en commun des risques basé à l'échelle municipale permettrait aux

entités sud-africaines de tirer tous les avantages des primes payées, tout en conservant un pouvoir de gouvernance et de prise de décision en Afrique du Sud. Selon ce modèle, les municipalités locales versent des primes à l'égard du fond commun de risques (soit à partir de leur propre budget, soit avec l'appui des donateurs), déterminées par le type de couverture requis (p. ex. un phénomène survenant une fois tous les cinq ans) et le profil de risque de la municipalité. La participation à la mise en commun de risques pourrait permettre aux gouvernements locaux d'avoir accès à l'assurance sous de meilleures conditions que s'ils souscrivaient une assurance en tant qu'entité individuelle. Le fond de mise en commun augmentera les réserves de capital au fil du temps grâce à des investissements qui génèrent des rendements, tout en réduisant l'exposition du fond en transférant des risques à la réassurance et aux marchés de capitaux.

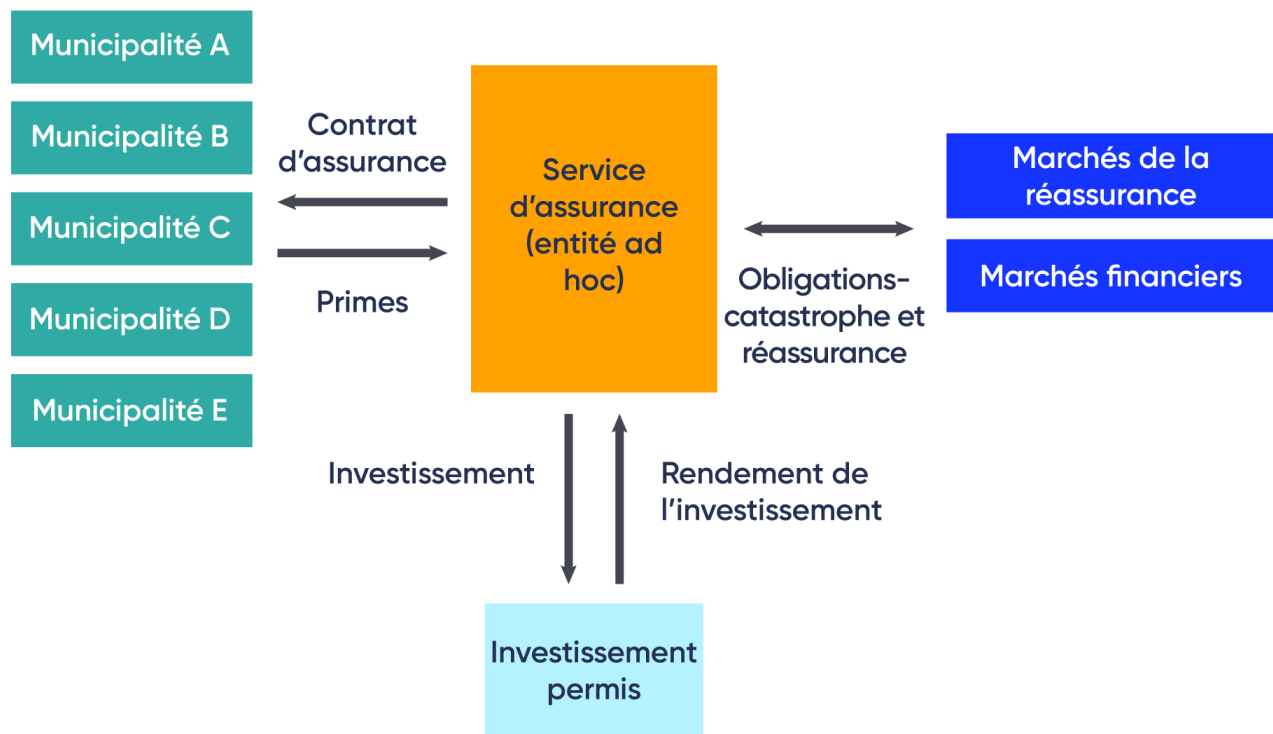


Figure 9.12 : Structure proposée pour la mise en commun des risques à l'échelle municipale, projet dirigé par l'Université du KwaZulu-Natal.

9.7 Aller de l'avant

9.7.1 Les lacunes en connaissances et les besoins en recherche

La recherche sur les risques et les occasions pour le Canada découlant des impacts et des phénomènes liés aux changements climatiques, ainsi que l'adaptation à ces changements, qui se produisent ou sont amplifiés au-delà des frontières canadiennes demeure sous-développée. Tous les sujets abordés ici, les tensions sur la souveraineté de l'Arctique à mesure que la glace marine s'amenuise; la possibilité de relations tendues en raison des changements induits par les changements climatiques dans les flux d'eau douce et les ressources marines transfrontalières partagées; les impacts économiques pour le Canada en raison des changements dans le commerce mondial exacerbés par les phénomènes extrêmes et les changements climatiques; la possibilité d'une pression accrue sur l'infrastructure d'immigration et de réinstallation du Canada, ainsi que la demande d'aide internationale au Canada, font partie des douze principaux secteurs de risques climatiques reconnus pour le Canada (Conseil des académies canadiennes, 2019). La défense et les politiques étrangères reconnaissent le rôle des changements climatiques dans l'aggravation des vulnérabilités existantes dans l'Arctique et des fragilités dans certains pays, ainsi que la nécessité de renforcer les capacités pour répondre à des demandes accrues. Les perturbations liées aux changements climatiques dans les chaînes d'approvisionnement mondiales mettent en évidence la possibilité pour le commerce de propager ou d'atténuer le risque économique, et l'adoption généralisée de la divulgation financière liée aux changements climatiques par les entreprises des secteurs commerciaux du Canada pourrait bien produire les données nécessaires pour comprendre dans quelle mesure les produits, le marché, la logistique, la sécurité et d'autres dynamiques interagissent avec les risques liés aux changements climatiques. Les organismes qui gèrent les ententes de partage des ressources transfrontalières commencent à revoir les hypothèses de conditions environnementales statiques, car elles risquent l'utilisation non durable des ressources et menacent la stabilité des relations de coopération. Malgré une prise de conscience croissante des dimensions internationales des risques liés aux changements climatiques pour le Canada, la base de connaissances est insuffisante pour évaluer de façon fiable l'ampleur de l'exposition actuelle et future au risque à mesure que les changements climatiques s'intensifient. Cette évaluation reposait sur un certain nombre de volets de recherche et de preuves; dans certains cas, les interférences continues se sont avérées nécessaires.

Néanmoins, avec les données disponibles, il est possible de mettre en évidence les premiers indicateurs de mesures à l'intention des décideurs, tandis que les milieux universitaires et de pratique continuent de combler les lacunes dans les connaissances. Le tableau 9.13 présente un compte rendu qualitatif de la probabilité des facteurs de risque décrits dans les sections précédentes du présent chapitre. Il y a moins de confiance dans les facteurs de risque liés au commerce international.

Tableau 9.13 : Évaluation qualitative des risques et des occasions pour le Canada découlant d'impacts transfrontaliers des changements climatiques au cours des 30 prochaines années

FACTEUR DE RISQUE/OCCASION	PROBABILITÉ	CONFIANCE
Navigation dans l'Arctique et souveraineté		
Diminution de l'étendue, de l'épaisseur et de l'âge de la glace marine estivale dans l'océan Arctique et ouverture progressive des principales voies navigables libres de glace pendant une partie de l'année		
Accès physique accru aux ressources et aux eaux arctiques du Canada		
Augmentation du trafic maritime dans les voies navigables de l'Arctique canadien, y compris dans le passage du Nord-Ouest		
Développement de la navigation et du commerce dans l'Arctique économiquement concurrentiels et sûrs		
Perception accrue du passage du Nord-Ouest comme un détroit international lié à une augmentation substantielle de la navigation commerciale		
Réduction de la capacité du Canada d'utiliser l'article 234 en vertu de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer pour affirmer sa légitimité sur la réglementation des eaux du passage du Nord-Ouest		
Augmentation de la pollution, des déversements d'hydrocarbures et des impacts négatifs sur les habitats marins en raison de la navigation dans le passage du Nord-Ouest		
Capacité réduite de faire appliquer les protections environnementales dans les voies navigables de l'Arctique canadien à cause d'une infrastructure et d'exploitations inadéquates		

FACTEUR DE RISQUE/OCCASION	PROBABILITÉ	CONFIANCE
Ententes transfrontalières relatives aux eaux marines et aux eaux douces		
Augmentation de la migration des espèces marines dans les eaux polaires ou profondes, entraîne une redistribution des espèces marines par-delà les frontières		
Changements dans la quantité d'eau et le moment des flux, la température de l'eau, l'intensité, la fréquence ou la durée des inondations et des sécheresses, provoquant une redistribution spatiale et temporelle des ressources en eau douce au-delà des frontières		
Changements dans les avantages perçus du partage des ressources, en partie causés par les différences régionales des impacts et les vulnérabilités des changements climatiques		
Incertitude accrue quant à la réalisation des objectifs de gestion dans le cadre de la coopération transfrontalière existante		
Besoin accru de compromis difficiles par rapport aux utilisations concurrentes de l'eau douce		
Application accrue des mesures d'adaptation dans la plupart des ententes clés Canada–États-Unis sur l'eau douce (au-delà de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs)		
Commerce international		
Impacts économiques accrus pour le Canada en raison des perturbations dans les chaînes d'approvisionnement et les réseaux de distribution		
Résilience accrue des réseaux d'infrastructure commerciale nouveaux et existants à l'échelle mondiale		

FACTEUR DE RISQUE/OCCASION	PROBABILITÉ	CONFIANCE
Augmentation des marchés mondiaux pour des solutions d'adaptation	Red	Red
Changements dans la disponibilité et les prix des matières premières, y compris des perturbations du système alimentaire mondial	Orange	Green
Propagation accrue des risques économiques pour le Canada découlant des impacts des changements climatiques sur ses principaux partenaires commerciaux	Yellow	Green
Gains relatifs accrus pour le Canada découlant des ajustements à long terme des modèles commerciaux	Yellow	Grey
Accroissement des disparités mondiales à cause de l'effet adaptatif inégal du commerce	Orange	Green

Migration humaine et évacuation

Évacuations accrues de millions de personnes dans le monde chaque année à cause des cyclones tropicaux, des inondations, des sécheresses, des incendies de forêt et de l'insécurité alimentaire, combinés à des facteurs de stress non climatiques	Red	Red
Augmentation future des demandes d'immigration au Canada en provenance de pays fortement exposés aux risques climatiques, surtout en provenance des plus grands pays sources d'immigrants internationaux du Canada	Orange	Yellow
Augmentation de la migration des travailleurs qualifiés vers le Canada en provenance des régions perturbées par le climat	Yellow	Yellow
Croissance accrue en matière de demande d'aide financière pour les procédures d'asile et à titre de destination de réinstallation	Orange	Yellow

FACTEUR DE RISQUE/OCCASION	PROBABILITÉ	CONFIANCE
Évolution des arrivées d'immigrants pour des raisons climatiques au Canada façonnée par des éléments disparates d'immigration et des politiques frontalières Canada–États-Unis	Orange	Jaune

Aide internationale

Demande future accrue d'aide internationale, y compris pour répondre aux crises humanitaires, en particulier dans les pays où le Canada est déjà actif	Rouge	Rouge
Besoin accru d'aide internationale pour s'attaquer aux causes profondes de migration involontaire causée par les changements climatiques	Orange	Jaune
Augmentation de la demande future d'intervention dans les pays les moins développés politiquement instables et où l'eau se fait rare	Orange	Jaune

Remarque : La probabilité est représentée sur une échelle de couleurs graduée où le vert foncé signifie « négligeable », le vert pâle « improbable », le jaune « possible », l'orange « probable » et le rouge « presque certaine ». La confiance est représentée sur une échelle de 4 couleurs où le gris signifie « mitigée », le vert « faible », le jaune « moyenne » et le rouge « élevée ». Les cotes de confiance tiennent compte de l'étendue des preuves et de l'influence relative des facteurs non climatiques. Les cotes de probabilité et de confiance étaient fondées sur l'opinion d'experts de l'équipe d'auteurs.

D'après l'évaluation du présent chapitre, quatre thèmes émergents se distinguent comme nécessitant une considération plus approfondie à mesure que la science et les connaissances en matière d'adaptation évoluent au Canada.

9.7.1.1 Gouvernance et intégration

Dans les recherches menées par des universitaires et des praticiens, on reconnaît les avantages de l'adaptation évoluée par son intégration dans les institutions existantes, les politiques et les processus de planification (p. ex. Lemmen et coll., 2008). L'intégration est une stratégie mise de l'avant dans chacune des discussions du présent chapitre et est un concept étroitement lié à la gouvernance. Chacun des sujets abordés dans ce chapitre possède son propre réseau d'acteurs et d'institutions qui régissent déjà l'évolution de chaque système à différentes échelles. Les ententes internationales (p. ex. traités sur les bassins

versants transfrontaliers) et le droit coutumier (p. ex. UNCLOS), les institutions multilatérales (p. ex. Conseil de l'Arctique, Organisation mondiale du commerce, accords commerciaux), les politiques nationales ou infranationales (p. ex. échanges commerciaux, défense militaire, immigration, aide internationale) et les stratégies sectorielles ou organisationnelles font toutes partie des questions entourant la gouvernance. La gouvernance est elle-même dynamique et sujette à changer selon les attentes sociétales, la politique, les normes sociales et les calendriers d'examen, entre autres, de sorte que l'intégration de l'adaptation peut avoir lieu au sein d'une cible en mouvement. Cela peut inclure la nécessité de démanteler ou de modifier les institutions existantes et d'en créer de nouvelles là où il n'en existe pas. Les options pour accroître la prise en compte des impacts indirects et transfrontaliers des changements climatiques dans la gouvernance de l'adaptation comprennent : 1) les mesures nationales ou bilatérales qui, par exemple, visent à accroître l'autosuffisance et à assurer la coopération parmi les partenaires stratégiques; 2) les mesures transnationales caractérisées par le leadership d'acteurs non étatiques; et 3) les mesures internationales axées sur la réforme des institutions existantes, y compris l'élargissement du mandat de la CCNUCC (Benzie et Persson, 2019).

À l'heure actuelle, les principaux enjeux qui prennent de l'importance dans la gouvernance au Canada et qui façonnent la gouvernance de l'adaptation comprennent la réconciliation avec les peuples autochtones et la montée de la politique populiste. Le premier a des implications fondamentales pour l'utilisation et le développement des ressources, entre autres domaines. Par exemple, pour les peuples inuits, la souveraineté dans l'Arctique est liée à l'autodétermination, au droit à l'intégrité culturelle et à l'autonomisation (Conseil circumpolaire inuit, 2009). Pour régler ces problèmes, il faut appuyer des collectivités saines et durables, en se basant sur les besoins et les connaissances des Inuits (Gerhardt, 2011), et collaborer avec les gouvernements à l'établissement des règles pour le développement de l'Arctique (Dodds et Hemmings, 2015). Les changements dans l'opinion publique canadienne en faveur du populisme peuvent tempérer le rôle du Canada en tant que destination pour les migrants de régions perturbées par les changements climatiques et comme source d'aide au développement international renommée pour l'adaptation et la résilience. Les attitudes insulaires de la population canadienne peuvent aussi diminuer la volonté politique d'agir sur l'engagement du Canada envers le multilatéralisme et d'intervenir en tant que sous-traitant mondial de solutions coopératives. Compte tenu de la pression accrue pour obtenir les résultats des budgets publics, il est essentiel de connaître les répercussions sur l'équité des efforts d'adaptation financés par les gouvernements. En même temps, la cohérence entre toutes les parties des politiques internationales du Canada relativement aux changements climatiques, au commerce, aux migrations, à l'aide internationale et aux efforts de sécurité deviendra de plus en plus importante.

9.7.1.2 Systèmes alimentaires mondiaux

Combinés à d'autres pressions, comme la croissance démographique et le changement de régime alimentaire, les changements climatiques menacent les systèmes alimentaires mondiaux, qui touchent également la sécurité alimentaire. La sécurité alimentaire est un concept multidimensionnel qui comprend la disponibilité (quantité), l'accès (physique et financier), l'utilisation (nutrition) et la stabilité (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, 2018). Bien que toutes les dimensions soient soumises aux menaces des changements climatiques, les études quantitatives portent sur la disponibilité des aliments et, dans une

moindre mesure, sur l'accès à ceux-ci. Le rôle du Canada dans le soutien à la sécurité alimentaire à l'extérieur de ses frontières, aujourd'hui et dans l'avenir, y compris en tant qu'exportateur net d'engrais, de céréales, de poissons et de fruits de mer, grâce à l'aide internationale et à la recherche en partenariat, mérite d'être examiné de plus près. Ce rôle peut être exploré dans l'optique de plusieurs dimensions, y compris l'intérêt économique, la stabilité mondiale et les contributions à la réalisation du Programme de développement durable des Nations Unies de 2030. Dans l'examen de la contribution potentielle du Canada à la disponibilité des denrées alimentaires, à l'accès à ces denrées et à la stabilité de l'offre de denrées alimentaires future, une vision plus équilibrée que celle qui est saisie dans les efforts de modélisation mondiale pourrait s'avérer nécessaire pour évaluer l'impact des changements climatiques sur la production de denrées alimentaires au Canada et ce que cela signifie pour les exportations. Par exemple, les producteurs agricoles canadiens seront confrontés à un mélange d'occasions et de défis (voir le chapitre « [Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation](#) »), et les fonctions globales incluses dans des études comme celle de Dellink et coll. (2017) peuvent ne pas saisir les effets réalistes sur la productivité agricole et le contenu nutritionnel du Canada. Un manque de recherche sur la façon dont les impacts des changements climatiques ailleurs dans le monde pourraient affecter les approvisionnements en denrées alimentaires au Canada représente un important écart de connaissances, puisque les choix des consommateurs pourraient devenir limités à mesure que la fiabilité des exportations d'aliments des pays tropicaux s'amenuisera.

9.7.1.3 Outils d'évaluation qui permettent de tenir compte de l'incertitude et de la complexité

Depuis de nombreuses années, la recherche canadienne et internationale a reconnu que la vulnérabilité aux changements climatiques et les décisions en matière d'adaptation sont rarement définis en fonction des facteurs climatiques uniquement (GIEC, 2007). Cette conclusion s'applique bien à la compréhension des dimensions internationales des risques liés aux changements climatiques pour le Canada et à la façon dont les Canadiens devraient s'y adapter. L'évaluation de toutes les questions du présent chapitre a souligné que les changements climatiques et leurs impacts sont rarement les seuls facteurs de risque ou la seule raison de l'adaptation. Par exemple, les marchés des ressources, la technologie et les intérêts stratégiques sont d'importants facteurs de navigation dans les voies navigables de l'Arctique; la disparition de la glace marine ne permettant que l'activité maritime. La migration de la population est le résultat de divers facteurs environnementaux, sociaux, économiques et culturels. Bien que certains dangers climatiques obligent l'évacuation directe de la population (p. ex. les ouragans), le rôle de la variabilité ou des changements climatiques dans la motivation des mouvements de population n'est pas toujours clair. En raison de la complexité de l'évaluation et de la gestion des risques (et des occasions) résultant des interactions entre les causes et les chaînes d'effets à plusieurs niveaux, les décideurs pourraient avoir besoin d'aide pour cerner le problème. Cela peut inclure la clarification des résultats qu'ils souhaitent protéger, l'isolement des éléments déclencheurs les plus susceptibles de menacer ou d'enrichir ces résultats, la mise en œuvre et le suivi des actions de gestion ciblant les éléments déclencheurs sur lesquels ils ont un certain contrôle ou la capacité de prévoir et de suivre l'évolution des autres éléments déclencheurs. L'utilisation d'outils de prévision (p. ex. la planification de scénarios et l'analyse prospective) ainsi que d'approches holistiques, comme la cartographie des systèmes (p. ex. Craddock-Henry et coll., 2020) et l'évaluation des effets cumulatifs, qui combinent les facteurs et les résultats climatiques et non climatiques dans un seul cadre, contribueront à lier l'étendue

des résultats probables et des leviers de gestion qui méritent d'être approfondis. La capacité de penser aux systèmes, le leadership adaptatif et l'apprentissage itératif sont tous des qualités importantes des décideurs qui naviguent dans des transformations à grande échelle (Eyzaguirre et coll., 2017).

9.7.1.4 Modélisation économique renforcée

Outre les améliorations apportées à la modélisation du secteur de l'agriculture et de l'alimentation, le renforcement de l'ampleur et de la profondeur des efforts de modélisation à l'échelle de l'économie canadienne contribuerait à améliorer l'évaluation globale des risques économiques. Il existe un manque de connaissances dans l'analyse des impacts économiques des changements climatiques sur les modèles de production nationale, comme dans l'analyse des impacts projetés sur les économies des régions avec lesquelles les producteurs canadiens sont en concurrence sur les marchés internationaux. Des études comme celles réalisées par Szewczyk et coll. (2018), qui ont modélisé les effets de propagation des impacts climatiques qui se produisent à l'extérieur de l'UE, mais qui affectent l'UE par le commerce, et par Zhang et coll. (2018), qui ont modélisé les effets de propagation des impacts climatiques qui se produisent aux États-Unis et qui affectent d'autres régions du monde par le biais du commerce, servent de fondations sur lesquelles s'appuyer, tout comme les évaluations entreprises en Allemagne et en Suisse (Stockholm Environment Institute, 2018).

9.8 Conclusion

Le présent chapitre portait sur les risques et les occasions pour le Canada liés aux dimensions internationales des impacts indirects des changements climatiques. Pour toutes les questions examinées, la recherche demeure sous-développée, en particulier en ce qui concerne le commerce international. Les impacts indirects des changements climatiques ont longtemps été négligés dans la recherche canadienne sur l'adaptation, en partie à cause des complexités méthodologiques et des multiples disciplines concernées. Bien que l'adaptation planifiée ou proactive ne soit pas documentée ou ne se produise pas encore de manière cohérente dans l'ensemble des questions de politique et de gestion évaluées, il existe des exemples d'adaptation spontanée ou axée sur le marché. L'augmentation de la navigation dans l'Arctique, les décisions de migration en réponse aux catastrophes climatiques et la diversification des fournisseurs de matières premières ne sont que quelques exemples. Il est difficile d'évaluer l'importance d'exclure ces effets transfrontaliers, téléconnectés ou en cascade pour mesurer les progrès du Canada dans l'adaptation aux changements climatiques. Néanmoins, les renseignements présentés dans ce chapitre font la lumière sur les risques potentiels que représente l'attente à définir les bases de l'adaptation et à solutionner les faiblesses de la résilience et de la capacité d'adaptation qui ont déjà été relevées (p. ex. pour la navigation et la souveraineté dans l'Arctique ainsi que pour la gestion des ressources transfrontalières). Dans tous les cas, sans une grande réduction des émissions mondiales de GES de serre pour limiter les changements climatiques futurs, il deviendra de plus en plus coûteux et difficile de maintenir le bien-être des Canadiens dans un monde perturbé par les changements climatiques (Curtin, 2019).

9.9 Références

- Abdel-Fattah, S. et Krantzberg, G. (2014). « Commentary: Climate change adaptive management in the Great Lakes ». *Journal of Great Lakes Research*, 40(3), 578–580. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.05.007>>
- Abel, G.J., Brottrager, M., Cuaresma, J.C. et Muttarak, R. (2019). « Climate, conflict and forced migration ». *Global Environmental Change*, 54, 239–249. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.12.003>>
- Adams, H. (2016). « Why populations persist: mobility, place attachment and climate change ». *Population and Environment*, 37(4), 429–448. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11111-015-0246-3>>
- Adams, C., Ide, T., Barnett, J. et Detges, A. (2018). « Sampling bias in climate–conflict research ». *Nature Climate Change*, 8, 200–203. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0068-2>>
- Adams, K., Harris, K., Klein, R.J.T., Lager, F. et Benzie, M. (2020). « Climate-Resilient Trade and Production: The Transboundary Effects of Climate Change and Their Implications for EU Member States ». *Adaptation Without Borders*. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://adaptationwithoutborders.org/knowledge-base/transnational-climate-impacts/climate-resilient-trade-and-production>>
- Adger, W.N., Pulhin, J.M., Barnett, J., Dabelko, G.D., Hovelsrud, G.K., Levy, M. et Oswald Spring, Ú. (2014). « Human security », dans *Changements climatiques 2014 – Conséquences, adaptation, et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC*, Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (éds.), 755–791. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap12_FINAL.pdf>
- Affaires mondiales Canada (2019a). Le point sur le commerce 2019 : 20e édition. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.international.gc.ca/gac-amc/assets/pdfs/publications/State-of-Trade-2019_fra.pdf>
- Affaires mondiales Canada (2019b). Évaluation du Programme du plateau continental étendu du Canada. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.international.gc.ca/gac-amc/assets/pdfs/publications/evaluation/2019/2019-evaluation-ecs-pce-fra.pdf>>
- Affaires mondiales Canada (2020). Le point sur le commerce 2020 : Premières répercussions de la COVID-19 sur le commerce international du Canada. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.international.gc.ca/gac-amc/assets/pdfs/publications/State-of-Trade-2020_fra.pdf>
- Afifi, T., Milan, A., Etzold, B., Schraven, B., Rademacher-Schulz, C., Sakdapolrak, P., Reif, A., van der Geest, K. et Warner, K. (2016). « Human mobility in response to rainfall variability: opportunities for migration as a successful adaptation strategy in eight case studies ». *Migration and Development*, 5(2), 254–274. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/21632324.2015.1022974>>
- Ahmadalipour, A., Moradkhani, H. et Kumar, M. (2019). « Mortality risk from heat stress expected to hit poorest nations the hardest ». *Climatic Change*, 152(3), 569–579. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2348-2>>
- Ainsworth, C.H., Samhouri, J.F., Busch, D.S., Cheung, W.W.L., Dunne, J. et Okey, T.A. (2011). « Potential impacts of climate change on Northeast Pacific marine foodwebs and fisheries ». *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 1217–1229. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr043>>
- Andrew, R. (2014). « Socio-Economic Drivers of Change in the Arctic. AMAP Technical Report No. 9 ». Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norvège. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.amap.no/documents/doc/socio-economic-drivers-of-change-in-the-arctic/1115>>
- Aqorau, T., Bell, J. et Kittinger, J. N. (2018). « Good governance for migratory species ». *Science*, 361(6408), 1208–1209. Consulté en février 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1126/science.aav2051>>
- Arctic Domain Awareness Center (2017). « Arctic 2030+: Projecting Challenges and Capability Gaps “Needs of the North” ». Consulté en octobre 2020 sur le site <https://crrc.unh.edu/sites/crrc.unh.edu/files/outreach/arctic_2030_report_5_sep_2017.pdf>
- Armitage, D., de Loë, R.C., Morris, M., Edwards, T.W.D., Gerlak, A.K., Hall, R.I., Huitema D., Ison, R., Livingstone, D., MacDonald, G., Mirumachi, N., Plummer, R. et Wolfe B.B. (2015). « Science–policy processes for transboundary water governance ». *Ambio*, 44, 353–366. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13280-015-0644-x>>
- Arnold, S. (2012). « Constructing an Indigenous Nordicity: The “New Partnership” and Canada’s Northern Agenda ». *International Studies Perspectives*, 13(1), 105–120. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1111/j.1528-3585.2011.00455.x>>
- Arruda, G.M. (2015). « Arctic governance regime: the last frontier for hydrocarbons exploitation ». *International Journal of Law and Management*, 57(5), 498–521. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1108/IJLMA-09-2014-0054>>

- Ash, J. (2016). « Cold peace: Arctic conflict in an era of climate change ». *Journal of Intelligence and Terrorism Studies*, 1, 1–13. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.22261/MV5JAC>>
- Assan, E., Suvedi, M., Schmitt Olabisi, L. et Allen, A. (2018). « Coping with and adapting to climate change: A gender perspective from smallholder farming in Ghana ». *Environments*, 5(8), 86. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3390/environments5080086>>
- Aswani, S. et Lauer, M. (2014). « Indigenous people's detection of rapid ecological change ». *Conservation Biology*, 28(3), 820–828. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/cobi.12250>>
- Åtland, K. (2014). « Interstate relations in the Arctic: an emerging security dilemma? » *Comparative Strategy*, 33(2), 145–166. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/01495933.2014.897121>>
- Ayana, E.K., Ceccato, P., Fisher, J.R. et DeFries, R. (2016). « Examining the relationship between environmental factors and conflict in pastoralist areas of East Africa ». *Science of the Total Environment*, 557, 601–611. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.102>>
- Azose, J.J. et Raftery, A.E. (2019). « Estimation of emigration, return migration, and transit migration between all pairs of countries ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(1), 116–122. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1722334116>>
- Bader, H., Carlson, C. et Bouffard, T. (2014). « Tale of Two Arctics: Impact of Geography Affecting Security and Disaster Response Capabilities between North America and Europe ». *The Homeland Security Review*, 8(2), 1–21. Consulté en mars 2021 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/275657290_Tale_of_Two_Arctics_Impact_of_Geography_Affecting_Security_and_Disaster_Response_Capabilities_Between_North_America_and_Europe>
- Baez, J., Caruso, G., Mueller, V. et Niu, C. (2017). « Droughts augment youth migration in Northern Latin America and the Caribbean ». *Climatic Change*, 140, 423–435. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1863-2>>
- Bailey, M., Favaro, B., Otto, S.P., Charles, A., Devillers, R., Metaxas, A., Tyedmers, P., Ban, N.C., Mason, T., Hoover, C., Duck, T.J., Fanning, L., Milley, C., Cisneros-Montemayor, A.M., Pauly, D., Cheung, W.W.L., Cullis-suzuki, S., Teh, L. et Sumaila, U.R. (2016). « Canada at a crossroad: The imperative for realigning ocean policy with ocean science ». *Marine Policy*, 63, 53–60. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.10.002>>
- Bailey, R. et Wellesley, L. (2017). « Chokepoints and Vulnerabilities in Global Food Trade ». Chatham House Report, Chatham House, The Royal Institute of International Affairs. Londres, Royaume-Uni; Déclaration, Réunion des ministres de l'agriculture de la G20, 27–28 juillet 2018, Buenos Aires, Argentine. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.chathamhouse.org/2017/06/chokepoints-and-vulnerabilities-global-food-trade>>
- Baldassari, E. (2017). «The Northwest Passage: Myth, Environment, and Resources ». Environment & Society Portal, expositions virtuelles 2017, numéro 1, Rachel Carson Center for Environment and Society. Consulté en Mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.5282/rcc/6254>>
- Baldos, U.L.C. et Hertel, T.W. (2015). « The role of international trade in managing food security risks from climate change ». *Food Security*, 7, 275–290. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1007/s12571-015-0435-z>>
- Bankes, N. et Cosens, B. (2012). « The Future of the Columbia River Treaty ». Université de Toronto. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://munkschool.utoronto.ca/wp-content/uploads/2012/07/Bankes_and_Cosens_POWI_2012.pdf>
- Banque africaine de développement, Banque asiatique de développement, Banque européenne pour la reconstruction et le développement, Banque européenne d'investissement, Banque interaméricaine de développement, Banque islamique de développement et Banque mondiale (2019). « 2018 Joint Report on Multilateral Development Banks' Climate Finance ». Consulté en mars 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.18235/0001736>>
- Bartolai, A.M., He, L., Hurst, A.E., Mortsch, L., Paehle, R. et Scavia, D. (2015). « Climate change as a driver of change in the Great Lakes St. Lawrence River Basin ». *Journal of Great Lakes Research*, 41, 45–58. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.012>>
- Batten, S. (2018). « Climate change and the macro-economy: a critical review ». Document de travail du personnel, numéro 706, janvier 2017. Bank of England. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://www.bankofengland.co.uk/working-paper/2018/climate-change-and-the-macro-economy-a-critical-review>>
- BC Hydro (2013). « Columbia River Treaty Review Technical Studies ». BC Hydro and Power Authority, Burnaby, Colombie-Britannique. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://engage.gov.bc.ca/app/uploads/sites/6/2012/07/Columbia-River-Treaty-Review-Technical-Studies-Report-FINAL.pdf>>
- Becker, A., Ng, A.K.Y., McEvoy, D. et Mullet, J. (2017). « Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains ». *WIREs Climate Change*, 9(2), e508. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.508>>

- Bekkers, E., Francois, J.F. et Rojas-Romagosa, H. (2018). « Melting Ice Caps and the Economic Impact of Opening the Northern Sea Route ». *The Economic Journal*, 128, 1095–1127. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1111/eoj.12460>>
- Benjaminsen, T.A. (2008). « Does Supply-Induced Scarcity Drive Violent Conflicts in the African Sahel? The Case of the Tuareg Rebellion in Northern Mali ». *Journal of Peace Research*, 45(6), 819–836. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0022343308096158>>
- Benjaminsen, T.A., Alinon, K., Buhaug, H. et Buseth, J.T. (2012). « Does climate change drive land-use conflicts in the Sahel? » *Journal of Peace Research*, 49(1), 97–111. Consulté en février 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1177/0022343311427343>>
- Benjaminsen, T.A. et Ba, B. (2019). « Why do pastoralists in Mali join jihadist groups? A political ecological explanation ». *The Journal of Peasant Studies*, 46(1), 1–20. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/03066150.2018.1474457>>
- Bennett, M.M. (2014). « The Maritime Tiger: Exploring South Korea's Interests and Role in the Arctic ». *Strategic Analysis*, 38(6), 886–903. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/09700161.2014.952935>>
- Bennett, M.M. (2015). « How China Sees the Arctic: Reading Between Extraregional and Intraregional Narratives ». *Geopolitics*, 20(3), 645–668. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/14650045.2015.1017757>>
- Benveniste H., Oppenheimer M. et Fleurbaey M. (2020). « Effect of border policy on exposure and vulnerability to climate change ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(43), 26692–26702. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1073/pnas.2007597117>>
- Benzie, M. et Persson, Å. (2019). « Governing borderless climate risks: moving beyond the territorial framing of adaptation ». *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 19(4-5), 369–393. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10784-019-09441-y>>
- Berger, A.M., Grandin, C.J., Taylor, I.G., Edwards, A.M. et Cox, C. (2017). « Status of the Pacific Hake (whiting) stock in U.S. and Canadian waters in 2017 ». Préparé par le Joint Technical Committee of the U.S. and Canada Pacific Hake/Whiting Agreement, National Marine Fisheries Service et le ministère des Pêches et Océans Canada. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www.pcouncil.org/documents/2017/03/i4_sup_att1_hake_assmt_execsum_mar2017bb.pdf>
- Berkes, F. (2010). « Linkages and multilevel systems for matching governance and ecology: lessons from roving bandits ». *Bulletin of Marine Science*, 86(2), 235–250. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2010/00000086/00000002/art00007?crawler=true&mimetype=application/pdf>>
- Bernard, P. (2006). « Canada and Human Security: From the Axworthy Doctrine to Middle Power Internationalism ». *American Review of Canadian Studies*, 36(2), 233–261. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/02722010609481699>>
- Bernstein, A., Brown, C., Taner, M. et Werick, B. (2017). « Climate Change Guidance Framework Pilot Project ». Commission mixte internationale. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ijc.org/sites/default/files/Climate_Change_Guidance_Framework_Pilot_Project_Report.pdf>
- Beveridge, L.M., Fournier, M., Lasserre, F., Huang, L. et Tetu, P.L. (2016). « Interest of Asian shipping companies in navigating the Arctic ». *Polar Science*, 10, 404–414. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.polar.2016.04.004>>
- Bindoff, N.L., Cheung, W.W.L., Kairo, J.G., Aristgui, J., Guinder, V.A., Hallbert, R., Hilmi, N., Jico, N., Karim, M.S., Levin, L., O'Donoghue, S., Purca Cuicapuse, S.R., Rinkevich, B., Suga, T., Tagliabue, A. et Williamson, P. (2019). « Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities », Chapitre 5 dans *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 447–587*, (éds.) H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, et N.M. Weyer. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-5/>>
- Black, R., Adger, W.N., Arnell, N.W., Dercon, S., Geddes, A. et Thomas, D. (2011). « The effect of environmental change on human migration ». *Global Environmental Change*, 21(S1), S3–S11. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.001>>
- Blumm M.C. (1980). « Hydropower vs. salmon: the struggle of the Pacific Northwest's anadromous fish resources for a peaceful coexistence with the federal Columbia River power system ». *Environmental Law*, 11(2), 211–300. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/43265537>>
- Boas, I., Farbotki, C., Adams, H., Sterly, H., Bush, S., van der Geest, K., Wiegel, H., Ashraf, H., Baldwin, A., Bettini, G., Blondin, S., de Brukin, M., Durand-Delacré, D., Frölich, C., Fiolo, G., Guiata, L., Hut, E., Jarawura, F.X., Lamers, M., Lietaer, S., Nash, S. L., Pigué, E., Rothe, D., Sakdapolrak, P., Smith, L., Furlong, B. T., Turhan, E., Warner, J., Zickgraf, C., Black, R. et Hulme, M. (2019). « Climate Migration Myths ». *Nature Climate Change*, 9, 901–903. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0633-3>>
- Bonds, E. (2016). « Losing the Arctic: the U.S. corporate community, the national-security state, and climate change ». *Environmental Sociology*, 2(1), 5–17. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/23251042.2015.1131600>>
- Borgerson, S. (2013). « The Coming Arctic Boom: As the Ice Melts, the Region Heats Up ». *Foreign Affairs*, 92(4), 76–89. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/23526909>>

- Brander, K.M. (2007). « Global fish production and climate change ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 19709–19714. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.0702059104>>
- Britten, G., Dowd, M., Canary, L. et Worm, B. (2017). « Extended fisheries recovery timelines in a changing environment ». *Nature Communications*, 8(15325). Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms15325>>
- Brown, O. et Crawford, A. (2009). « Rising temperatures, rising tensions: climate change and the risk of violent conflict in the Middle East ». Consulté en octobre 2020 sur le site <https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:41064600>
- Bruce, J.P. et Haites, E. (2008). Le Canada dans le contexte international, Chapitre 9 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada*, (éds.) D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 387–424. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch9_f.pdf>
- Bruce, J.P., Martin, H., Colucci, P., McBean, G., McDougall, J., Shrubsole, D., Whalley, J., Halliday, R., Alden, M., Mortsch, L. et Mills, B. (2003). « Climate Change Impacts on Boundary and Transboundary Water Management ». Resources naturelles Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://data.globalchange.gov/report/natresourcescanada-climchimps-2003>>
- Brzoska, M. et Fröhlich, C. (2016). « Climate change, migration and violent conflict: Vulnerabilities, pathways and adaptation strategies ». *Migration and Development*, 5(2), 190–210. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/21632324.2015.1022973>>
- Buhaug, H. (2015). « Climate-conflict research: Some reflections on the way forward ». *WIREs Climate Change*, 6(3), 269–275. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.336>>
- Buhaug, H. (2016). « Climate Change and Conflict: Taking Stock ». *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, 22(4), 331–338. Consulté en février 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1515/peps-2016-0034>>
- Buhaug, H., Nordkvelle, J., Bernauer, T., Böhmelt, T., Brzoska, M., Busby, J., Ciccone, A., Fjelde, H., Gartzke, E., Gleditsch, N.P., Goldstone, J.A., Hegre, H., Holtermann, H., Koubi, V., Link, J.S.A., Link, P.M., Lujala, P., O'Loughlin, J., Raleigh, C., Scheffran, J., Schilling, J., Smith, T.G., Theisen, O.M., Tol, R.S.J., Urdal H. et von Uexkull, N. (2014). « One effect to rule them all? A comment on climate and conflict ». *Climatic Change*, 127(3-4), 391–397. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1266-1>>
- Burke, D.C. (2017). « Leading by example: Canada and its Arctic stewardship role ». *International Journal of Public Policy*, 13(1–2), 36–52. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1504/IJPP.2017.081050>>
- Burrows, K. et Kinney, P.L. (2016). « Exploring the Climate Change, Migration and Conflict Nexus ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(4). Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3390/ijerph13040443>>
- Busby, J. (2020). « It's Time We Think Beyond "Threat Multiplier" to Address Climate and Security ». New Security Beat. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.newsecuritybeat.org/2020/01/its-time-threat-multiplier-address-climate-security/>>
- Busby, J., Cook, K., Vizio, E., Smith, T. et Bekalo, M. (2014). « Identifying hot spots of security vulnerability associated with climate change in Africa ». *Climatic Change*, 124(4), 717–731. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1142-z>>
- Busby, J. et von Uexkull, N. (2018). « Climate Shocks and Humanitarian Crises: Which Countries Are Most at Risk? » Foreign Affairs. Consulté en février 2020 sur le site <<https://www.foreignaffairs.com/articles/world/2018-11-29/climate-shocks-and-humanitarian-crises>>
- Butt, T.A., McCarl, B.A., Angerer, J., Dyke, P.T. et Stuth, J.W. (2005). « The economic and food security implications of climate change in Mali ». *Climatic Change*, 68(3), 355–378. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-005-6014-0>>
- Byers, M. (2010). « Cold peace: Arctic cooperation and Canadian foreign policy ». *International Journal*, 65(4), 899–912. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1177/002070201006500418>>
- Byers, M. et Lalonde, S. (2009). « Who controls the Northwest Passage? » *Vanderbilt Journal of Transnational Law*, 42(4), 1133–1210. Consulté en février 2021 sur le site <<http://library.arcticportal.org/id/eprint/1613>>
- Campbell, R. (éd.) (2015). « An Introduction to Inuit Rights and Arctic Sovereignty ». Law Now Magazine. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.lawnow.org/introduction-inuit-rights-arctic-sovereignty/>>
- Canada et États-Unis. (1925). « Convention and protocol between His Britannic Majesty in respect of the Dominion of Canada, and the United States, for regulating the level of the Lake of the Woods, and of identical letters of reference submitting to the International Joint Commission certain questions as to the regulation of the levels of Rainy lake and other upper waters ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.lwcb.ca/BoardDesc/ConventionAndProtocolCanada1925.pdf>>



Canada et États-Unis. (1932). « Great Lakes-St. Lawrence Deep Waterway Treaty: Text of the Treaty between the United States and Canada signed at Washington July 18, 1932. » Déclarations du Président et du Département d'État, et rapport de la Commission mixte d'ingénieurs d'avril 9, 1932. Consulté en février 2021 sur le site <<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.a0010507275&view=1up&seq=3>>

Canada et États-Unis (1950). « Treaty Between Canada and the United States of America Concerning the Diversion of the Niagara River ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.treaty-accord.gc.ca/text-texte.aspx?id=100418>>

Canada et États-Unis (1952). « Exchange of Notes Between Canada and the United States of America Concerning the Construction of the St. Lawrence Seaway ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.treaty-accord.gc.ca/text-texte.aspx?id=100431>>

Canada et États-Unis (1954). « Convention on Great Lakes Fisheries between The United States of America and Canada ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://www.glfcc.org/pubs/conv.htm>>

Canada et États-Unis (1964). « The Columbia River Treaty Protocol and Related Documents ». Ministère des affaires étrangères et Ministère des affaires du Nord et des ressources nationales. Consulté en février 2020 sur le site <<https://engage.gov.bc.ca/app/uploads/sites/6/2017/01/the-crt-and-protocol-april-1964.pdf>>

Canada et États-Unis (1985). « Treaty Between the Government of Canada and the Government of the United States of America Concerning Pacific Salmon ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/salmon-saumon/pst-tsp/index-eng.html>>

Canada et États-Unis (2013). « Great Lakes Water Quality Agreement ». Commission mixte internationale. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/main/grandslacs-greatlakes/a1c62826-72be-40db-a545-65ad6fcea92/1094_canada-usa-20glwqa-20_e.pdf>

Carnaghan, M. et Goody, A. (2006). « Canadian Arctic Sovereignty ». Bibliothèque du Parlement, PRB 05-61E. Consulté en février 2021 sur le site <<http://publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/Collection-R/LoPBdP/PRB-e/PRB0561-e.pdf>>

Carter, N.A., Dawson, J., Parker, C., Cary, J., Gordon, H., Kochanowicz, Z. et Weber, M. (2019). « Arctic Corridors and Northern Voices: governing marine transportation in the Canadian Arctic ». Rapport communautaire de Paulatuk, la région désignée des Inuvialuit, Territoires du Nord-Ouest. Université de Ottawa, Ottawa. Consulté en février 2021 sur le site <https://ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/39361/6/UofO_CommReport_ResoluteBay_3_FINAL_LO.pdf>

Cattaneo, C., Beine, M., Fröhlich, C. J., Kniveton, D., Martinez-Zarzoso, I., Mastrorillo, M., Millock, K., Pigué, E. et Schraven, B. (2019). « Human Migration in the Era of Climate Change ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 189–206. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rez008>>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2015). « G7 Communiqué on Climate and Security: External Statement, 19 April 2015 ». Consulté en janvier 2021 sur le site <<https://unfccc.int/news/g7-communique-on-climate-and-security>>

CDP (2015). « Supply Chain Sustainability Revealed: A Country Comparison ». Supply Chain Report 2014–15. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.accenture.com/t20150523t015757_w_/kr-en/acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/about-accenture/pdf/2/accenture-cdp-supply-chain-report-2015.pdf>

Centre interne de surveillance des catastrophes (2020). « Global report on internal displacement. Norwegian Refugee Council ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/2020-IDMC-GRID.pdf>>

Centre pour le climat et la sécurité (2020). « The World Climate and Security Report 2020 ». Un produit du groupe d'experts de l'International Military Council on Climate and Security. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2020/02/world-climate-security-report-2020_2_13.pdf>

Challinor, A.J., Adger, W.N. et Benton, T.G. (2017). « Climate risks across borders and scales ». *Nature Climate Change*, 7(9), 621–623. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate3380>>

Chambre de commerce du Canada (2016). « Canada's Top 10 Barriers to Competitiveness in 2016 ». Consulté en février 2021 sur le site <https://businessinsurrey.com/wp-content/uploads/2016/03/Canadas_Top_10_Barriers_to_Competitiveness_in_2016.pdf>

Chambre de commerce du Canada (2019). « A Competitive Transition: How Smarter Climate Policy Can help Canada Lead the Way to a Low Carbon Economy ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://bellevillechamber.ca/photos/custom/news/181213ACompetitiveTransition.pdf>>

Chambre des communes (2019). Édification du pays dans le Nord et vigilance aux frontières : une vision prospective du Canada dans l'arctique. Rapport du Comité permanent des affaires étrangères et du développement international. 42e Législature, 1re session. Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.noscommunes.ca/Content/Committee/421/FAAE/Reports/RP10411277/faaerp24/faaerp24-f.pdf>>

- Charron, A. (2005). « The Northwest Passage Shipping Channel: Sovereignty First and Foremost and Sovereignty to the Side ». *(Re)Conceptualizing Arctic Security Selected Articles from the Journal of Military and Strategic Studies. Journal of Military and Strategic Studies* 7(4). Consulté en février 2021 sur le site <<https://jmss.org/article/view/57733/43409>>
- Charron, A. (2015). « Canada, the Arctic, and NORAD: Status quo or new ball game? » *International Journal: Canada's Journal of Global Policy Analysis*, 70(2), 215–231. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0020702015572998>>
- Charron, A. et Fergusson, J. (2018). « Arctic Sovereignty: Preoccupation vs. Homeland Governance and Defence ». Institut Canadien des Affaires Mondiales. Consulté en février 2021 sur le site <https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/cdfai/pages/4039/attachments/original/1536107606/Arctic_Sovereignty_Preoccupation_vs_Homeland_Governance_and_Defence.pdf?1536107606>
- Chatzivasileiadis, T.N., Hofkes, M.W., Kuik, O.J. et Tol, R.S.J. (2016). « Full economic impacts of sea level rise: loss of productive resources and transport disruptions ». University of Sussex Working Paper series N.99-2016. Consulté en février 2021 sur le site <<http://www.sussex.ac.uk/economics/documents/wps-99-2016.pdf>>
- Cheung, W.W.L. (2018). « The future of fishes and fisheries in the changing oceans ». *Journal of Fish Biology*, 92(3), 790–803. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfb.13558>>
- Cheung, W.W.L., Brodeur, R.D., Okey, T.A. et Pauly, D. (2015). « Projecting future changes in distributions of pelagic fish species of Northeast Pacific shelf seas ». *Progress in Oceanography*, 130, 19–31. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.09.003>>
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R. et Pauly, D. (2009). « Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios ». *Fish and Fisheries*, 10(3), 235–251. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>>
- Cheung, W.W.L., Reygondeau, G. et Frölicher, T.L. (2016). « Large benefits to marine fisheries of meeting the 1.5°C global warming target ». *Science*, 354, 1591–1594. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aag2331>>
- Church, C. et Hammill, A. (2019). « Defining Adaptation – and Distinguishing It From Other Development Investments ». L'Institut international du développement durable. Consulté en mars 2020 sur le site <https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2019/05/IISD_Defining_Adaptation_05.2019.pdf>
- Cisneros-Montemayor, A.M., Cheung, W.W.L., Bodtger, K., Teh, L.S.L., Steiner, N., Bailey, M., Hoover, C. et Sumaila, U.R. (2017). « Towards an integrated database on Canadian ocean resources: benefits, current states, and research gaps ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 74(1), 65–74. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0573>>
- Clapp, C., Ellis, J., Benn, J. et Corfee-Morlot, J. (2012). « Tracking Climate Finance: What and How? OECD ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.oecd.org/env/cc/50293494.pdf>>
- Coats, D. (2019). « The Worldwide Threat Assessment of the US Intelligence Community ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/2019-ATA-SFR--SSCI.pdf>>
- Collège des Forces canadiennes (2018). « Climate Change: A Threat Multiplier? A Symposium on Climate Change Impacts on National Security ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cfc.forces.gc.ca/237/139-eng.html>>
- Collège des Forces canadiennes (2021). « CNSS Symposia and Workshops ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cfc.forces.gc.ca/237/268-eng.html>>
- Commission des Grands Lacs (1994). « Ecosystem Charter for the Great Lakes-St. Lawrence Basin ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.glc.org/wp-content/uploads/2016/10/GLC-Ecosystem-Charter-Great-Lakes-Basin-1997.pdf>>
- Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions (2019). « Nunavut Impact Review Board – Final Report for the Strategic Environmental Assessment in Baffin Bay and Davis Strait. NIRB File No. 17SN034. Volume 3 : Analysis of Scenarios, Key Findings and Recommendations ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.nirb.ca/publications/Strategic%20Environmental%20Assessment/first%20row-third%20file-190731-17SN034-Final%20SEA%20Report-Volume%203-OPAE.pdf>>
- Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (2009). « Guidance on Water and Adaptation to Climate Change ». Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes (« Water Convention »), 144 p. Consulté en février 2021 sur le site <https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate.pdf>
- Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (2013). « Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes ».



Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (2018). « Progress on Transboundary Water Cooperation Under the Water Convention. Report on implementation of the Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes ». Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, New York et Genève. Consulté en février 2021 sur le site <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_51_report_on_the_implementation/ece.mp.wat.51_web.pdf>

Commission économique des Nations Unies pour l'Europe et International Network of Basin Organizations (2015). « Water and Climate Change Adaptation in Transboundary Basins: Lessons Learned and Good Practices ». Commission économique des Nations Unies pour l'Europe et le International Network of Basin Organizations, Genève et Paris. Consulté en février 2021 sur le site <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_Good_practices/ece.mp.wat.45.pdf>

Commission européenne (2009). « Guidance Document No. 24: River Basin Management in a Changing Climate ». Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), 1–141. Consulté en février 2021 sur le site <https://circabc.europa.eu/sd/a/a88369ef-df4d-43b1-8c8c-306ac7c2d6e1/Guidance%20document%20n%2024%20-%20River%20Basin%20Management%20in%20a%20Changing%20Climate_FINAL.pdf>

Commission mixte internationale (2009). Impacts sur les niveaux d'eau des Grands Lacs d'amont : la rivière Sainte-Claire, Rapport Sommaire. L'étude internationale des Grands Lacs d'amont, Commission mixte internationale, Washington DC et Ottawa. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ijc.org/sites/default/files/Sommaire%20rapport%20St%20Claire.pdf>>

Commission mixte internationale (2013). « International Joint Commission's Advice to Governments on the Recommendations of the International Upper Great Lakes Study ». Rapport pour le Gouvernement du Canada et les États-Unis. Commission mixte internationale, Washington DC, Ottawa et Windsor. Consulté en février 2021 sur le site <<https://legacyfiles.ijc.org/publications/IUGLS-IJC-Report-Feb-12-2013-15-April-20132.pdf>>

Commission mixte internationale (2017). « First Triennial Assessment of Progress on Great Lakes Water Quality ». Commission mixte internationale, Washington DC et Ottawa. Consulté en février 2021 sur le site <<https://ijc.org/sites/default/files/TAP.pdf>>

Commission mixte internationale (2018). « A Climate Change Guidance Framework for IJC Boards: A Highlights Report 2018 ». Commission mixte internationale, Washington DC et Ottawa. Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ijc.org/en/climate-change-guidance-framework-ijc-boards-highlights-report-2018>>

Commission mixte internationale (2020). Eaux limitrophes. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.ijc.org/fr/eaux-limitrophes>>

Commission du saumon du Pacifique (2016a). « The Pacific Salmon Treaty ». Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.psc.org/about-us/history-purpose/pacific-salmon-treaty/>>

Commission du saumon du Pacifique (2016b). « About the funds ». Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.psc.org/about-us/structure/the-endowment-funds/about-the-funds/>>

Commission du saumon du Pacifique (2019). « Joint Chinook Technical Committee Report. 2018 Exploitation Rate Analysis and Model Calibration Volume Two: Appendix Supplement, Appendix C ». 144 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.psc.org/download/35/chinook-technical-committee/13375/tcchinook-21-1-v2.pdf>>

CPA Canada [Comptables Professionnels Agréés Canada] (2015). « Adaptation Case Study #3: MEC, Sector : Retail ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/-/media/site/business-and-accounting-resources/docs/climate-change-adaptation-case-study-3-mec-september-2015.pdf?la=en&hash=7CA342A2862AF6DE286E66D558AA2E92402D7F11>>

Conference Board du Canada (2017). « Clean Trade. Canada's Global Opportunities in Climate-Friendly Technologies ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.conferenceboard.ca/e-Library/document.aspx?did=8919>>

Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (2017). « Port Industry Survey on Climate Change Impacts and Adaptation ». Papier de recherche UNCTAD numéro 18, UNCTAD/SER.RP/2017/18. Consulté en février 2021 sur le site <https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2017d18_en.pdf>

Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (2018). Étude sur les transports maritimes 2018. Consulté en mars 2021 sur le site <https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018_fr.pdf>

Conseil des académies canadiennes (2016). Accidents dans le transport maritime commercial: Cerner les risques au Canada. Ottawa, Ontario; Rapport de l'atelier. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.rapports-cac.ca/reports/accidents-dans-le-transport-maritime-commercial-cerner-les-risques-au-canada/>>

Conseil des académies canadiennes (2017). La valeur du transport maritime commercial pour le Canada. Le comité d'experts sur la valeur sociale et économique du transport maritime commercial pour le Canada. Consulté en avril 2021 sur le site <<https://www.rapports-cac.ca/reports/la-valeur-du-transport-maritime-commercial-pour-le-canada/>>

Conseil des académies canadiennes (2019). « Canada's Top Climate Change Risks. The Expert Panel on Climate Change Risks and Adaptation Potential », Ottawa, Ontario. Consulté en février 2021 sur le site <<https://cca-reports.ca/wp-content/uploads/2019/07/Report-Canada-top-climate-change-risks.pdf>>

- Conseil de l'Arctique (2009). « Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Report », 39–55. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.pmel.noaa.gov/arctic-zone/detect/documents/AMSA_2009_Report_2nd_print.pdf>
- Conseil de l'Arctique (2017). « Arctic Resilience Action Framework ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://oarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2019/EDOCS-4248-v4-Arctic-Resilience-Action-Framework-after-New-York-SAO-2017.pdf?sequence=7&isAllowed=y>>
- Conseil circumpolaire inuit (2009). « A Circumpolar Inuit Declaration on Sovereignty in the Arctic ». Consulté en février 2021 sur le site <https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2016/07/Declaration_12x18_Vice-Chairs_Signed.pdf>
- Conseil circumpolaire inuit (2018). « Inuit Circumpolar Council Canada Submission to the Standing Committee on Foreign Affairs and International Development of the House of Commons ». Octobre 31, 2018. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ourcommons.ca/Content/Committee/421/FAAE/Brief/BR10186520/br-external/InuitCircumpolarCouncilCanada-e.pdf>>
- Comité des droits de l'homme de l'ONU (2020). Constatations adoptées par le Comité au titre de l'article 5 (par. 4) du Protocole facultatif, concernant la communication no 2728/2016. Pacte international relatif aux droits civils et politiques. Consulté en janvier 2020 sur le site <https://tbinternet.ohchr.org/_layouts/15/treatybodyexternal/Download.aspx?symbolno=CCPR%2FC%2F127%2FD%2F2728%2F2016&Lang=en>
- Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (1982). Consulté en février 2020 sur le site <https://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_f.pdf>
- Cooley, H., Christian-Smith, J., Gleick, P.H., Allen, L. et Cohen, M. (2009). « Understanding and reducing the risks of climate change for transboundary waters ». Pacific Institute, Oakland. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://pacinst.org/wp-content/uploads/2009/12/transboundary_water_and_climate_report3.pdf>
- Cooley, H., Christian-Smith, J., Gleick, P.H., Allen, L. et Cohen, M.J. (2012). « Climate Change and Transboundary Waters », Chapitre 1 dans *The World's Water, Volume 7: The Biennial Report on Freshwater Resources*, (éd.) P.H. Gleick. Island Press, Washington DC, USA, 1–22.
- Cooley, H. et Gleick, P.H. (2011). « Climate-proofing transboundary water agreements ». *Hydrological Sciences Journal*, 56(4), 711–718. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/02626667.2011.576651>>
- Costinot, A., Donaldson, D. et Smith, C. (2014). « Evolving comparative advantage and the impact of climate change in agricultural markets: Evidence from 1.7 million fields around the world ». Série de documents de travail du National Bureau of Economic Research. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.nber.org/system/files/working_papers/w20079/w20079.pdf>
- Cotter, J. (2017). « Developing a Coherent Plan to Deal with Canada's Conundrum in the Northwest Passage » dans *Section 3.3: The Northwest Passage. (Re)Conceptualizing Arctic Security Selected Articles from the Journal of Military and Strategic Studies*, (éds.) P.W. Lackenbauer, R. Dean et R. Huebert. Consulté en février 2021 sur le site <<https://jmss.org/article/view/57651/43320>>
- Coulibaly, A.L. (2013). « The Food Price Increase of 2010-2011: Cause and Impacts. Background Paper ». Bibliothèque du Parlement, publication numéro 2013-02-E. Consulté en février 2021 sur le site <<https://bdp.parl.ca/staticfiles/PublicWebsite/Home/ResearchPublications/BackgroundPapers/PDF/2013-02-e.pdf>>
- Cox, O. (2015). « Canada and the Northwest Passage: Intersection of National Sovereignty and Environmentalism? » (thèse de licence) Université Charles, Prague, République tchèque. Consulté en février 2021 sur le site <<https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130153774>>
- CRDI [Centre de recherches pour le développement international] (2019). « Initiative de recherche concertée sur l'adaptation en Afrique et en Asie ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.idrc.ca/fr/initiative/initiative-de-recherche-concertee-sur-ladaptation-en-afrique-et-en-asie>>
- CRDI [Centre de recherches pour le développement international] (2020). « Étudier la faisabilité d'une mise en commun des risques à l'échelle municipale comme mesure financière d'adaptation ». Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.idrc.ca/fr/project/etudier-la-faisabilite-dune-mise-en-commun-des-risques-lechelle-municipale-comme-mesure>>
- Cradock-Henry, N.A., Connolly, J., Blackett, P. et Lawrence, J. (2020). « Elaborating a systems methodology for cascading climate change impacts and implications ». *MethodsX*, 7, 100893. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100893>>
- Craig, R.K. (2010). « Stationarity is dead – long live transformation: Five principles for climate change adaptation law ». *Harvard Environmental Law Review*, 34(1), 9. Consulté en février 2021 sur le site <<https://ssrn.com/abstract=1357766>>
- Criddle, K.R. (2012). « Adaptation and maladaptation: factors that influence the resilience of four Alaskan fisheries governed by durable entitlements ». *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1168–1179. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fss085>>

- Croix-Rouge norvégienne (2019). « Overlapping vulnerabilities: the impacts of climate change on humanitarian needs ». Croix-Rouge norvégienne, Oslo. Consulté en février 2021 sur le site <<https://reliefweb.int/report/world/overlapping-vulnerabilities-impacts-climate-change-humanitarian-needs>>
- Cui, H.D., Kuiper, M., van Meijl, H. et Tabeau, A. (2018). « Climate change and global market integration: Implications for global economic activities, agricultural commodities and food security ». The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO) 2018. Document de référence. Rome, FAO. 42 p. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Curtin, J. (2019). « Climate Change Is Coming for Global Trade ». Foreign Policy, novembre 2019. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://foreignpolicy.com/2019/11/16/climate-change-disrupt-global-container-shipping-trade-policy-makers-take-note/>>
- Curtis, K.J. et Schneider, A. (2011). « Understanding the demographic implications of climate change: estimates of localized population predictions under future scenarios of sea-level rise ». *Population and Environment*, 33(1), 28–54. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11111-011-0136-2>>
- Dallmann, I. (2019). « Weather variations and international trade ». *Environmental and Resource Economics*, 72(1), 155–206. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10640-018-0268-2>>
- D'Amour, C.B., Wenz, L., Kalkhul, M. Steckel, J.C. et Creutzig, F. (2016). « Teleconnected food supply shocks ». *Environmental Research Letters*, 11(3). Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/035007>>
- Das, K. et Lashkari, R.S. (2015). « Risk readiness and resiliency planning for a supply chain ». *International Journal of Production Research*, 53(22), 6752–6771. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1057624>>
- Dawson, J., Carter, N., van Luijk, N., Parker, C., Weber, M., Cook, A., Grey, K. et Provencher, J. (2020a). « Infusing Inuit and local knowledge into the low impact shipping corridors: An adaptation to increased shipping activity and climate change in Arctic Canada ». *Environmental Science & Policy*, 105, 19–36. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.11.013>>
- Dawson, J., Holloway, J., Debortoli, N. et Gilmore, E. (2020b). « Treatment of International Economic Trade in Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Reports ». *Current Climate Change Reports*, 6, 1–11. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-020-00163-x>>
- Dawson, J., Johnston, M.E. et Stewart, E.J. (2014). « Governance of Arctic expedition cruise ships in a time of rapid environmental and economic change ». *Ocean & Coastal Management*, 89, 88–99. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.12.005>>
- Dawson, J., Pizzolato, L., Howell, S.E.L., Copland, L. et Johnston, M.E. (2018). « Temporal and Spatial Patterns of Ship Traffic in the Canadian Arctic from 1990 to 2015 ». *ARCTIC*, 71(10), 15–26. Consulté en février 2021 sur le site <<http://doi.org/10.14430/arctic4698>>
- Dawson, J., Stewart E.J., Johnston, M.E. et Lemieux, C.J. (2016). « Identifying and evaluating adaptation strategies for cruise tourism in Arctic Canada ». *Journal of Sustainable Tourism*, 24(10), 1425–1441. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/09669582.2015.1125358>>
- de Haas, H., Czaika, M., Flahaux, M.-L., Mahendra, E., Natter, K., Vezzoli, S. et Villares-Varela, M. (2019). « International Migration: Trends, Determinants, and Policy Effects ». *Population and Development Review*, 45(4), 885–922. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/padr.12291>>
- De Loë, R.C. (2009). « Sharing the Waters of the Red River Basin: A Review of Options for Transboundary Water Governance ». Conseil de la rivière Rouge, Commission mixte internationale, Guelph. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://legacyfiles.ijc.org/publications/Sharing%20the%20Waters%20of%20the%20Red%20River%20Basin.pdf>>
- De Souza, K., Kituyi, E., Harvey, B., Leone, M., Murali, K. et Ford, J. (2015). « Vulnerability to climate change in three hot spots in Africa and Asia: key issues for policy-relevant adaptation and resilience-building research ». *Regional Environmental Change*, 15(5), 747–753. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-015-0755-8>>
- Debortoli, N.S., Clark, D.G., Ford, J.D., Sayles, J.S. et Diaconescu, E.P. (2019). « An integrative climate change vulnerability index for Arctic aviation and marine transportation ». *Nature Communications*, 10(1), 1–15. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41467-019-10347-1>>
- Dellink, R., Hwang, H., Lanzi, E. et Chateau, J. (2017). « International trade consequences of climate change ». OECD Trade and Environment Working Papers, 2017/01. OECD Publishing, Paris. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1787/9f446180-en>>
- Deloitte et ESSA Technologies Ltd. (2016). « International export markets: Canadian climate change adaptation goods and services ». Préparé pour Ressources naturelles Canada.
- Département des affaires économiques et sociales de l'ONU (2017). « International Migration Report 2017 : Highlights (ST/ESA/SER.A/404) ». Population Division. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/publications/migrationreport/docs/MigrationReport2017_Highlights.pdf>

- Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., Thackeray, C. et Kirchmeier-Young, M. (2019). Évolution de la neige, de la glace et du pergélisol à l'échelle du Canada, Chapitre 5 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.), gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 194–260. Consulté en février 2021 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/5-0/>>
- DeWaard, J., Curtis, K.J. et Fussell, E. (2016). « Population recovery in New Orleans after Hurricane Katrina: exploring the potential role of stage migration in migration systems ». *Population and Environment*, 37(4), 449–463. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11111-015-0250-7>>
- Di Lorenzo, E. et Mantua, M. (2016). « Multi-year persistence of the 2014/15 North Pacific marine heatwave ». *Nature Climate Change*, 6, 1042–1047. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate3082>>
- Dietz, T., Ostrom E. et Stern, P.C. (2003). « The struggle to govern the commons ». *Science*, 302(5652), 1907–1912. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1091015>>
- Dirkson, A., Merryfield, W.J. et Monahan, A.H. (2019). « Calibrated probabilistic forecasts of Arctic sea ice concentration ». *Journal of Climate*, 32(4), 1251–1271. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0224.1>>
- Distefano, T., Laio, F., Ridolfi, L. et Schiavo, S. (2017). « Shock transmission in the international food trade network: a data-driven analysis » dans *Working Paper Series SEEDS-06/2017*. Consulté en février 2021 sur le site <<http://www.sustainability-seeds.org/papers/RePec/srt/wpaper/0617.pdf>>
- Dodds, K. et Hemmings, A.D. (2015). « Polar Oceans: Sovereignty and the Contestation of Territorial and Resource Rights », Chapitre 37 dans *The Earthscan Handbook of Ocean Resources and Management*, (Eds.) D. Hance, J.L. Smith, S. de Vvero et T. Agardy. Routledge, Abingdon.
- Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., W.J., Sydeman et Talley, L.D. (2012). « Climate Change Impacts on Marine Ecosystems ». *Annual Review of Marine Science*, 4, 11–37. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>>
- Draper, S.E. et Kundell, J.E. (2007). « Impact of climate change on transboundary water sharing ». *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(5), 405. Consulté en octobre 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2007\)133:5\(405\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:5(405))>
- Dulvy, N.K., Rogers, S.I., Jennings, S., Stelzenmuller, V., Dye, S.R. et Skjoldal, H.R. (2008). « Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas ». *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1029–1039. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01488.x>>
- Dyrcz, C. (2017). « Safety of Navigation in the Arctic ». *Scientific Journal of Polish Naval Academy*, 4(211). Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.5604/01.3001.0010.6742>>
- Echenique, M. et Melgar, L. (2018). « Mapping Puerto Rico's Hurricane Migration With Mobile Phone Data ». Citylab. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.citylab.com/environment/2018/05/watch-puerto-ricos-hurricane-migration-via-mobile-phone-data/559889/>>
- Engler, C. (2020). « Transboundary fisheries, climate change, and the ecosystem approach: taking stock of the international law and policy seascape ». *Ecology and Society*, 25(4), 43. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-11988-250443>>
- Entité américaine au traité sur le fleuve Columbia (2013). « U.S. Entity Regional Recommendation for the Future of the Columbia River Treaty After 2024 ». US Entity to the Columbia River Treaty. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.bpa.gov/Projects/Initiatives/crt/CRT-Regional-Recommendation-eFINAL.pdf>>
- Ericksen, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones, P. et Herrero, M. (2011). « Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics ». Climate Change, Agriculture and Food Security, Report No. 5. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://hdl.handle.net/10568/3826>>
- Escribano Francés, G., Quevauviller, P., San Martín González, E. et Vargas Amelin, E. (2017). « Climate change policy and water resources in the EU and Spain. A closer look into the Water Framework Directive ». *Environmental Science & Policy*, 69, 1–12. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.006>>
- État de l'Illinois, État de Michigan, État de Minnesota, État de New York, État de l'Ohio, Province de l'Ontario, Commonwealth de la Pennsylvanie, Gouvernement du Québec et État de Wisconsin (2005). « Great Lakes St. Lawrence River Basin Sustainable Water Resources Agreement ». Consulté en août 2020 sur le site <<https://docs.ontario.ca/documents/2700/200040.pdf>>
- Exner-Pirot, H. (2016) « Canada's Arctic Council chairmanship (2013–2015): a post-mortem ». *Canadian Foreign Policy Journal*, 22(1), 84–96. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/11926422.2015.1115772>>

Eyzaguirre, J., De La Cueva Bueno, P., Cranmer, C., Morand, A., Douglas, A., Robinson, D., Comer, N., Sparling, E., Cheng, V. et Lafrenière, C. (2017). « Policy Brief: Enabling Transformation of Two Farming Systems in Ontario's Changing Climate ». Une collaboration entre Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources, Risk Sciences International, ESSA Technologies Ltd. et Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Financé en partie par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Consulté en février 2021 sur le site <http://www.climateontario.ca/doc/p_OCAAF/OCAAF-PolicyBriefOnTransformingProductionSystems_FINAL.pdf>

Eyzaguirre, J. et Warren, F.J. (2014). Adaptation : établir un lien entre la recherche et la pratique, Chapitre 9 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, (éds.) F.J. Warren et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 253–286. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre9-Adaptation_Fra.pdf>

Fankhauser, S., Sahni, A., Savvas, A. et Ward, J. (2016). « Where are the gaps in climate finance? » *Climate and Development*, 8(3), 203–206. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1064811>>

Farré, A.B., Stephenson, S.R., Chen, L., Czub, M., Dai, Y., Demchev, D., Efimov, Y., Graczyk, P., Grythe, H., Keil, K., Kivekas, N., Kumar, N., Liu, N., Matelenok, I., Myksvoll, M., O'Leary, D., Olsen, J., Pavithran, S.A.P., Peterson, E., Raspotnik, A., Ryzhov, I., Solski, J., Suo, L., Troein, C., Valeeva, V., van Rijckevorsel, J. et Wighting, J. (2014). « Commercial Arctic shipping through the Northeast Passage: routes, resources, governance, technology, and infrastructure ». *Polar Geography*, 37(4), 298–324. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/1088937X.2014.965769>>

Favaro, B., Reynolds, J.D. et Côté, I.M. (2012). « Canada's weakening aquatic protection ». *Science*, 337(6091), 154. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1225523>>

Fédération canadienne de l'agriculture (2017). « Environmental Sustainability and Climate Change. Issue Brief: Environment ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cfa-fca.ca/wp-content/uploads/2017/07/Env-CC-Issue-Brief.pdf>>

Feitelson, E. et Tubi, A. (2017). « A main driver or an intermediate variable? Climate change, water and security in the Middle East ». *Global Environmental Change*, 44, 39–48. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.001>>

Fetzek, S., Mourad, B., Briggs, C. et Lewis, K. (2017). « Why and how to use foresight tools to manage climate security risks ». Planetary Security Initiative et The Center for Climate and Security. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www.planetarysecurityinitiative.org/sites/default/files/2017-04/PB_Why_and_how_to_use_foresight_tools.pdf>

Findley, S.E. (1994). « Does drought increase migration? A study of migration from rural Mali during the 1983–1985 drought ». *International Migration Review*, 28(3), 539–553. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1177/019791839402800306>>

Flake, L.E. (2014). « Russia's Security Intentions in a Melting Arctic ». *Military and Strategic Affairs*, 6(1). Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.inss.org.il/publication/russias-security-intentions-in-a-melting-arctic/>>

Fonds mondial pour la nature au Canada (2017). « Assessing climate change vulnerability in the St. John River ». Consulté en août 2020 sur le site <http://awsassets.wwf.ca/downloads/sjr_cccva_2017_summary_final.pdf>

Foresight (2011). « Migration and Global Environmental Change ». Rapport de projet final. Londres. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287717/11-1116-migration-and-global-environmental-change.pdf>

Freeman, L. (2017). « Environmental Change, Migration, and Conflict in Africa: A Critical Examination of the Interconnections ». *The Journal of Environment & Development*, 26(4), 351–374. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/1070496517727325>>

Froese, R. et Schilling, J. (2019). « The Nexus of Climate Change, Land Use, and Conflicts ». *Current Climate Change Reports*, 5(1), 24–35. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-019-00122-1>>

Furlow, J., Smith, J.B., Anderson, G., Breed, W. et Padgham, J. (2011). « Building resilience to climate change through development assistance: USAID's climate adaptation program ». *Climatic Change* 108, 411–421. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0127-4>>

Fussell, E. (2018). « Population displacements and migration patterns in response to Hurricane Katrina », Chapitre 22 dans *The Routledge Handbook of Environmental Migration and Displacement*, (éds.) R. McLeman et F. Gemenne, 1^e Ed., 277–288. Routledge, Londres.

García Molinos, J., Halpern, B.S., Shoeman, D.S., Brown, C.J., Kiessling, W., Moore, P.J., Pandolfi, J.M., Poloczanska, E.S., Rochardson, A.J. et Burrows, M.T. (2015). « Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity ». *Nature Climate Change*, 6, 83–88. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2769>>

Gautier, D., Denis, D. et Locatelli, B. (2016). « Impacts of drought and responses of rural populations in West Africa: a systematic review ». *WIREs Climate Change*, 7(5), 666–681. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.411>>

- George, J. (2019a). « Canadian Inuit challenge U.S. stance on Northwest Passage ». Nunatsiq News, mai 9, 2019. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://nunatsiq.com/stories/article/canadian-inuit-challenge-u-s-stance-on-northwest-passage/>>
- George, M. (2019b). « An 'Unsettled' Conversation about St. John River Flooding and Climate Change ». Huddle, May 6, 2019. Consulté en mars 2020 sur le site <<https://huddle.today/an-unsettled-conversation-about-st-john-river-flooding-and-climate-change/>>
- Gerhardt, H. (2011). « The Inuit and Sovereignty: The Case of the Inuit Circumpolar Conference and Greenland ». *Politik*, 1(1). Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.7146/politik.v14i1.27469>>
- Giannini, A., Krishnamurthy, P.K., Cousin, R., Labidi, N. et Choularton, R.J. (2017). « Climate risk and food security in Mali: A historical perspective on adaptation ». *Earth's Future*, 5(2), 144–157. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2016EF000404>>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019). « Technical Summary » dans *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, (éds.) H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_fr.pdf>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2007). Changements climatiques 2007 : Rapport de synthèse. Contribution du Groupe de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (éds.) Pachauri, R.K et Reisinger, A. GIEC, Geneva, Suisse, 104 p. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). Résumé à l'intention des décideurs, dans Changements Climatiques 2014 – Conséquences, adaptation, et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC (éds.) C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White. Cambridge University Press, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 32 p. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/summary-for-policymakers/>>
- Giguère, M.A., Comtois, C. et Slack, B. (2017). « Constraints on Canadian Arctic maritime connections ». *Case Studies on Transport Policy*, 5(2), 355–366. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.03.004>>
- Gilmore, E.A. (2017). « Introduction to Special Issue: Disciplinary Perspectives on Climate Change and Conflict ». *Current Climate Change Reports*, 3, 193–199. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-017-0081-y>>
- Gilmore, E.A., Herzer Risi, L., Tennant, E. et Buhaug, H. (2018). « Bridging Research and Policy on Climate Change and Conflict ». *Current Climate Change Reports*, 4, 313–319. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-018-0119-9>>
- Gledhill, R., Hamza-Goodacre, D. et Ping Low, L. (s.d.). « Business-not-as-usual: Tackling the impact of climate change on supply chain risk ». PwC. Réimprimé à partir de Resilience : A journal of strategy and risk.
- Gleditsch, N. (2012). « Whither the weather? Climate change and conflict ». *Journal of Peace Research*, 49(1), 3–9. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0022343311431288>>
- Gleick, P.H. (2014). « Water, drought, climate change, and conflict in Syria ». *Weather, Climate, and Society*, 6, 331–340. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1175/WCAS-D-13-00059.1>>
- Goldstein, A., Turner, W.R., Gladstone, J. et Hole, D.G. (2019). « The private sector's climate change risk and adaptation blind spots ». *Nature Climate Change*, 9, 8–25. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1038/s41558-018-0340-5>>
- Gouel, C. et Laborde, D. (2018). « The crucial role of international trade in adaptation to climate change » (No. w25221). National Bureau of Economic Research. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.nber.org/system/files/working_papers/w25221/w25221.pdf>
- Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest (2015). « Trends in shipping in the Northwest Passage and the Beaufort Sea », Chapitre 7.3 dans *NWT State of the Environment Report*. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.enr.gov.nt.ca/en/state-environment/73-trends-shipping-northwest-passage-and-beaufort-sea>>
- Gouvernement du Canada (2010). Statement on Canada's Arctic. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www.international.gc.ca/world-monde/international_relations_relations_internationales/arctic-arctique/arctic_policy-canada-politique_arctique.aspx?lang=fra>
- Gouvernement du Canada (2017a). Politique d'aide internationale féministe du Canada, 9 juin. Affaires mondiales Canada, Ottawa. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://international.gc.ca/world-monde/assets/pdfs/iap2-fra.pdf>>
- Gouvernement du Canada (2017b). Protection, Sécurité, Engagement – La politique de défense du Canada. Défense nationale. Consulté en février 2021 sur le site <<http://dgpapp.forces.gc.ca/fr/politique-defense-canada/docs/rapport-politique-defense-canada.pdf>>

Gouvernement du Canada (2018). Initiatives et programmes du financement climatique du Canada. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://climate-change.canada.ca/finance/?GoCTemplateCulture=fr-CA>>

Gouvernement du Canada (2020). Quatrième rapport biennal du Canada à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/br4_final_fr.pdf>

Gouvernement de la Colombie-Britannique (2013). « US Benefits from the Columbia River Treaty – Past, Present and Future: A Province of British Columbia Perspective ». BC Ministry of Energy and Mines, Victoria, Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://engage.gov.bc.ca/app/uploads/sites/6/2012/07/US-Benefits-from-CRT-June-20-13-2.pdf>>

Gouvernement de la Colombie-Britannique (2014). « Columbia River Treaty Review – BC Decision ». BC Ministry of Energy and Mines, Victoria, Canada. Consulté en août 2019 sur le site <<https://engage.gov.bc.ca/columbiarivertreaty/bc-decision/>>

Gouvernement de la Colombie-Britannique (2017). « British Columbia agrifood and seafood international export highlights ». Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/statistics/market-analysis-and-trade-statistics/2017_bc_agrifood_and_seafood_export_highlights.pdf>

Gouvernement de la Colombie-Britannique (2019). « Historic agreement reached between Columbia River Basin Indigenous Nations, Canada, and British Columbia to collaborate on salmon re-introduction ». BC Gov News, BC Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations, and Rural Development, Victoria, Canada. Consulté en septembre 2019 sur le site <<https://news.gov.bc.ca/stories/historic-agreement-reached-between-columbia-river-basin-indigenous-nations-canada-and-british-columb>>

Gouvernement des États-Unis (2013). « National Strategy for the Arctic Region ». Consulté en février 2021 sur le site <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/docs/nat_arctic_strategy.pdf>

Grande-Bretagne et États-Unis (1909). « The Boundary Waters Treaty of 1909 ». Commission mixte internationale, Washington, DC. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.ijc.org/sites/default/files/2018-07/Boundary%20Water-ENGFR.pdf>>

Gray, C. et Wise, E. (2016). « Country-specific effects of climate variability on human migration ». *Climatic Change*, 135(3), 555–568. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-015-1592-y>>

Greenan, B.J.W., James, T.S., Loder, J.W., Pepin, P., Azetsu-Scott, K., Ianon, D., Hamme, R.C., Gilbert, D., Tremblay, J-E., Wang, X.L. et Perrie, W. (2019). Changements touchant les océans qui bordent le Canada, Chapitre 7 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, (éds.) E. Bush et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 343–423. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/7-0/>>

Greenert, J. (2014). « The United States Navy Arctic Roadmap for 2014 to 2030 ». Office of the Chief of Naval Operations, Washington DC. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a595557.pdf>>

Gruber, N., Hauri, C., Lachkar, Z., Loher, D., Frölicher, T.L. et Plattner, G.K. (2012). « Rapid Progression of Ocean Acidification in the California Current System ». *Science*, 337, 220–223. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1216773>>

Gullestad, P., Sundby, S. et Kjesbu, O. S. (2020). « Management of transboundary and straddling fish stocks in the Northeast Atlantic in view of climate-induced shifts in spatial distribution ». *Fish and Fisheries*, 21(5), 1008–1026. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/faf.12485>>

Guy, E. et Lasserre, F. (2016). « Commercial shipping in the Arctic: new perspectives, challenges and regulations ». *Polar Record*, 52(3), 294–304. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247415001011>>

Guy, K. et coll. (2020). « A Security Threat Assessment of Global Climate Change: How Likely Warming Scenarios Indicate a Catastrophic Security Future ». The National Security, Military, and Intelligence Panel on Climate Change, The Center for Climate and Security, Washington, DC. Consulté en février 2021 sur le site <<https://climateandsecurity.org/wp-content/uploads/2020/03/a-security-threat-assessment-of-climate-change.pdf>>

Halliday, W., Insley, S., Hilliard, R.C., de Jong, T. et Pine, M.K. (2017). « Potential impacts of shipping noise on marine mammals in the western Canadian Arctic ». *Marine Pollution Bulletin*, 123, 73–82. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.027>>

Hamlet, A.F. (2010). « Assessing water resources adaptive capacity to climate change impacts in the Pacific Northwest Region of North America (Revisions1) ». *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7, 4437–4471. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.5194/hessd-7-4437-2010>>

Hamlet, A.F., Elsner, M.M., Mauger, G.S., Lee, S.Y., Tohver, I. et Norhiem, R.A. (2013). « An Overview of the Columbia Basin Climate Change Scenarios Project: Approach, Methods, and Summary of Key Results ». *Atmosphere-Ocean*, 51(4), 392–415. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07055900.2013.819555>>

- Hamlet, A.F. et Lettenmaier, D.P. (1999). « Effects of Climate Change on Hydrology and Water Resources in the Columbia River Basin ». *Journal of the American Water Resources Association*, 35(6), 1597–1623. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb04240.x>>
- Hamlet, A.F. et Lettenmaier, D.P. (2007). « Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western US ». *Water Resource Research*, 43(6), 1–17. Consulté en février 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1029/2006WR005099>>
- Hanna, S. (2008). « Institutions for Managing Resilient Salmon (*Oncorhynchus* Spp.) Ecosystems: the Role of Incentives and Transaction Costs ». *Ecology and Society*, 13(2), 35. Consulté en février 2021 sur le site <<http://doi.org/10.5751/ES-02606-130235>>
- Hannesson, R. (2020). « The Nash-Cournot approach to shared fish stocks: an empirical investigation ». *Marine Policy*, 118:103978. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103978>>
- Harber, B.C. (2015). « Climate Change and International Competition: The US Army in the Arctic Environment. Monograph - School of Advanced Military Studies United States Army Command and General Staff College ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1001460.pdf>>
- Harrington, L., Frame, D., Fischer, E., Hawkins, E., Joshi, M. et Jones, C. (2016). « Poorest countries experience earlier anthropogenic emergence of daily temperature extremes ». *Environmental Research Letters*, 11(5), 055007. Consulté en février 2021 sur le site <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/055007/pdf>>
- Hauer, M.E., Evans, J.M. et Mishra, D.R. (2016). « Millions projected to be at risk from sea-level rise in the continental United States ». *Nature Climate Change*, 6, 691–695. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2961>>
- Hauer, M.E., Fussell, E., Mueller, V., Burkett, M., Call, M., Abel, K., McLeman, R. et Wrathall, D. (2020). « Sea-level rise and human migration ». *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 28–39. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1038/s43017-019-0002-9>>
- Hauser, D.D., Laidre, K.L. et Stern, H.L. (2018). « Vulnerability of Arctic marine mammals to vessel traffic in the increasingly ice-free Northwest Passage and Northern Sea Route ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(29), 7617–7622. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1803543115>>
- Hendrix, C.S. (2018). « Searching for climate–conflict links ». *Nature Climate Change*, 8, 190–191. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0083-3>>
- Hildén, M., Lahn, G., Carter, T.R., Klein, R.J.T., Otto, I.M., Pohl, B., Reyer, C.P.O. et Tondel, F. (2020). « Cascading Climate Impacts: A New Factor in European Policy-Making ». CASCADES Policy Brief. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.sei.org/publications/cascading-climate-impacts-new-factor/>>
- Hildebrand, L.P., Brigham, L.W. et Johansson, T.M. (éds.) (2018). « Sustainable shipping in a changing Arctic », volume 7 dans *WMU Studies in Maritime Affairs*. Springer International Publishing, 489 p.
- Hollowed, A.B., Hare, S.R. et Wooster, W.S. (2001). « Pacific Basin climate variability and patterns of Northeast Pacific marine fish production ». *Progress in Oceanography*, 49(1-4), 257–282. Consulté en février 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(01\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(01)00026-X)>
- Hollowed, A.B., Ito, S.I., Kim, S., MacKenzie, B.R., Mueter, F.J., Okey, T.A., Peck, M.A., Radchenko, V.A., Rice, J.C., Shirripa, M.J., Yatsu, A., Barange, M., Yamanaka, Y., King, J.R., Beamish, R.J., Brander, K., Cochrane, K., Loeng, H., Drinkwater, K., Foremand, M.G.G., Hare, J.A. et Holt, J. (2013). « Projected impacts of climate change on marine fish and fisheries ». *ICES Journal of Marine Science*, 70(5), 1023–1037. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst081>>
- Homer-Dixon, T. (1991). « On the Threshold: Environmental Changes as Causes of Acute Conflict ». *International Security*, 16(2), 76–116. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.2307/2539061>>
- Honkonen, T. (2017). « Water security and climate change: The need for adaptive governance ». *Potchefstroom Electronic Law Journal*, 20, 1–26. Consulté en février 2021 sur le site <<https://ssrn.com/abstract=2983026>>
- Hsiang, S. et Burke, M. (2013). « Climate, Conflict, and Social Stability: What Does the Evidence Say? » *Climatic Change*, 123, 39–55. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1007/s10584-013-0868-3>>
- Huebert, R. (2001). « Climate change and Canadian sovereignty in the Northwest Passage » dans *Canadian Arctic Sovereignty and Security: Historical Perspectives*, (éds.) Lackenbauer, P.W. Centre for Military and Strategic Studies, University of Calgary, 383–399. Consulté en février 2021 sur le site <<https://journalhosting.ucalgary.ca/index.php/cpmss/article/view/36337>>
- Huebert, R. (2003). « The shipping news part II: how Canada's Arctic sovereignty is on thinning ice ». *International Journal*, 58(3), 295–308. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.2307/40203861>>
- Huebert, R. (2010). « The Newly Emerging Arctic Security Environment ». Institut Canadien des Affaires Mondiales, Ottawa. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/cdfai/pages/41/attachments/original/1413661956/The_Newly_Emerging_Arctic_Security_Environment.pdf?1413661956>

- Huitema, D., Mostert, E., Egas, W. et Moellenkamp, S. (2009). « Adaptive water governance: assessing the institutional prescriptions of adaptive (co-) management from a governance perspective and defining a research agenda ». *Ecology and Society*, 14(1), 26. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art26/>>
- Hunter, L.M., Luna, J.K. et Norton, R.M. (2015). « Environmental Dimensions of Migration ». *Annual Review of Sociology*, 41, 377–397. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-soc-073014-112223>>
- Hunter, L.M., Murray, S. et Riosmena, F. (2013). « Rainfall Variation and U.S. Migration from Rural Mexico ». *International Migration Review*, 47(4), 874–909. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/imre.12051>>
- Ide, T. (2018). « Climate war in the Middle East? Drought, the Syrian civil war and the state of climate-conflict research ». *Current Climate Change Reports*, 4, 347–354. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-018-0115-0>>
- Institut mondial des ressources (2017). « Aqueduct: Flood Risk ». Consulté en décembre 2018 sur le site <<http://floods.wri.org/>>
- Inuit Tapiriit Kanatami (2017). « Nilliajut 2: Inuit Perspectives on the Northwest Passage Shipping and Marine Issues ». Consulté en février 2021 sur le site <https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2018/01/NilliajutTextPages_Draftv4_english_web.pdf>
- Inuit Tapiriit Kanatami (2018). Vidéo : « Nilliajut 2: Inuit perspectives on the Northwest Passage shipping and marine use ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.youtube.com/watch?v=0EGzKIQoJY>>
- Ishtiaque, A. et Nazem., N.I. (2017). « Household-level disaster-induced losses and rural–urban migration: Experience from world’s one of the most disaster-affected countries ». *Natural Hazards* 86(1), 315–326. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-016-2690-5>>
- Johnson, B.L. (1999). « The Role of Adaptive Management as an Operational Approach for Resource Management Agencies ». *Conservation Ecology*, 3(2), 8. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.5751/es-00136-030208>>
- Johnston, M., Dawson, J., De Souza, E. et Stewart, E.J. (2017). « Management challenges for the fastest growing marine shipping sector in Arctic Canada: pleasure crafts ». *Polar Record*, 53(1), 67–78. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/s0032247416000565>>
- Kam, P.M., Aznar-Siguan G., Schewe J., Milano L., Ginnetti J., Willner S., McCaughey J.W. et Bresch D.N. (2021). « Global warming and population change both heighten future risk of human displacement due to river floods ». *Environmental Research Letters* 16, 44026. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1088/1748-9326/abd26c>>
- Kelley, C.P., Mohtadi, S., Cane, M.A., Seager, R. et Kushnir, Y. (2015). « Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(11), 3241–3246. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>>
- Kelman, I. (2015). Difficult decisions: « Migration from Small Island Developing States under climate change ». *Earth’s Future*, 3(4), 133–142. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2014EF000278>>
- Keskitalo, E.C.H. (2010). « Introduction – Adaptation to Climate Change in Europe: Theoretical Framework and Study Design », dans *Developing Adaptation Policy and Practice in Europe: Multi-Level Governance of Climate Change*. Springer Netherlands, Dordrecht, 1–38.
- Ketchum, K. et Barroso, L.A. (2006). « The Columbia River Treaty - an example of effective cross-border river regulation ». X Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning. Consulté en février 2021 sur le site <http://www.psr-inc.com/wp-content/uploads/articles/2006_X_SEPOPE-CRTpaperfinal.pdf>
- King, A. et Harrington, L. (2018). « The Inequality of Climate Change From 1.5 to 2°C of Global Warming ». *Geophysical Research Letters*, 45(10), 5030–5033. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2018GL078430>>
- Kintisch, E. (2015). « “The Blob” invades Pacific, flummoxing climate experts ». *Science*, 348(6230), 17–18. Consulté en février 2021 sur le site <<https://science.sciencemag.org/content/348/6230/17.full>>
- Korneev, V.N., Volchak, A.A., Hertman, L.N., Usava, I.P., Anufriev, V.N., Pakhomau, A.V., Rusaya, I.A., Bulak, I.A., Bahadziazh, E.P., Dubenok, S.A., Zavyalov, S.V., Rachevsky, A.N., Rimkus, E., Stonevicius, E., Speikas, A., Buijs, P., Crema, G., Denisov, N.B. et Koepfel, S. (2015). « Strategic Framework for Adaptation to Climate Change in the Neman River Basin ». 61 p. Programme des Nations Unies pour le développement et Commission économique des Nations Unies pour l’Europe. Consulté en février 2021 sur le site <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2016/wat/04Apr_6-7_Workshop/Strategy_of_Adaptation_to_Climate_Change_ENG_for_print.pdf>
- Koubi, V. (2019). « Climate Change and Conflict ». *Annual Review of Political Science*, 22, 343–360. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-050317-070830>>
- Koubrak, O. et VanderZwaag, D. (2020). « Are transboundary fisheries management arrangements in the Northwest Atlantic and North Pacific seaworthy in a changing ocean? » *Ecology and Society*, 25(4), 42. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-11835-250442>>

- Kovacs, P. et Thistlethwaite, J. (2014). Industrie, Chapitre 5 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, (éds.) F.J. Warren et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 135–158. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie_Fra.pdf>
- Krysanova, V., Buiteveld, H., Haase, D. et Hattermann, F.F. (2008). « Practices and lessons learned in coping with climatic hazards at the river-basin scale: floods and droughts ». *Ecology*, 13(2), 32. Consulté en février 2021 sur le site <<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art32/>>
- Kujawinski, P. (2017). « The complicated relationship between cruise ships and the Arctic Inuit ». *The New Yorker*, mai 11, 2017. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.newyorker.com/news/news-desk/the-complicated-relationship-between-cruise-ships-and-the-arctic-inuit>>
- Lackenbauer, W. et Lajeunesse, A. (2014). « On Uncertain Ice: The Future of Arctic Shipping and the Northwest Passage ». Institut Canadien des Affaires Mondiales. Consulté en février 2021 sur le site <https://d3n8a8pro7yhm.cloudfront.net/cdfai/pages/440/attachments/original/1417676137/On_Uncertain_Ice.pdf?1417676137>
- Lackenbauer, P.W. et Lalonde, S. (2017a). « Introduction – Section 3 : The Northwest Passage », dans *(Re)Conceptualizing Arctic Security*, (éds.) P.W. Lackenbauer, R. Dean et R. Huebert. Articles sélectionnés de *Journal of Military and Security Studies*.
- Lackenbauer, P.W. et Lalonde, S. (2017b). « Searching for Common Ground in Evolving Canadian and EU Arctic Strategies, in the European Union and the Arctic ». *Publications on Ocean Development*, Volume 85, Brill. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://doi.org/10.1163/9789004349179_007>
- Lajeunesse, A. (2018) « Canada's Sovereignty in the Arctic. Brief to the Standing Committee on Foreign Affairs and International Development ». Juin 2018. St. Francis Xavier University, NS. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.ourcommons.ca/Content/Committee/421/FAAE/Brief/BR10003044/br-external/LajeunesseAdam-e.pdf>>
- Lalonde, S. (2019). « Canadian Arctic Maritime Sovereignty During the Trudeau Years » dans *Canada's Arctic Agenda : Into the Vortex*, (éds.) J. Higginbotham et J. Spence. Centre for International Governance Innovation, 75–82. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.cigionline.org/sites/default/files/documents/Arctic%20Report%202019%20web.pdf>>
- Landriault, M. (2016). « Interest in and public perceptions of Canadian Arctic sovereignty: Evidence from editorials, 2000–2014 ». *International Journal of Canadian Studies*, 54, 5–25. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3138/ijcs.54.5>>
- Lasserre, E.G. (2016). « Commercial shipping in the Arctic: new perspectives, challenges and regulations ». *Polar Record*, 52(3), 294–304. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247415001011>>
- Lasserre, F., Beveridge, L., Fournier, M., Têtu, P.L. et Huang, L. (2016). « Polar seaways? Maritime transport in the Arctic: An analysis of shipowners' intentions II ». *Journal of Transport Geography*, 57, 105–114. Consulté en février 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.10.004>>
- Le Bris, A., Mills, K.E., Wahle, R.A., Chen, Y., Alexander, M.A., Allyn, A.J., Shuetz, J.G., Scott, J.D. et Pershing, A.J. (2018). « Climate vulnerability and resilience in the most valuable North American fishery ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(8), 1831–1836. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1711122115>>
- Lee, K.N. (1994). « Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment ». Island Press.
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush, E. (éds.) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2008*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/what-adaptation/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada/10254>>
- Levitt, M. (2019). *Édification du pays dans le Nord et Vigilance aux Frontières : une Vision Prospective du Canada dans l'Arctique*. Rapport du Comité permanent des affaires étrangères et du développement international. Chambre des Communes, 68 p. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.noscommunes.ca/DocumentViewer/fr/42-1/FAAE/rapport-24>>
- Liehr, S., Drees, L. et Hummel, D. (2016). « Migration as Societal Response to Climate Change and Land Degradation in Mali and Senegal », dans *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa*, (éds.) J.A. Yaro et J. Hesselberg. Springer, Berlin, Heidelberg, 147–169.
- Link, J.S., Nye, J.A. et Hare, J.A. (2011). « Guidelines for incorporating fish distribution shifts into a fisheries management context ». *Fish and Fisheries*, 12(4), 461–469. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00398.x>>
- Linke, A.M., Witmer, F.D., O'Loughlin, J., McCabe, J.T. et Tir, J. (2018). « The consequences of relocating in response to drought: human mobility and conflict in contemporary Kenya ». *Environmental Research Letters*, 13(9). Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad8cc>>
- Loebach, P. (2016). « Household migration as a livelihood adaptation in response to a natural disaster: Nicaragua and Hurricane Mitch ». *Population and Environment*, 38, 185–206. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11111-016-0256-9>>

- Mach, K.J., Kraan, C.M., Adger, W.N., Halvard, B., Burke, M., Fearon, J.D., Field, C.B., Hendrix, C.S., Maystadt, J., O'Loughlin, J., Roessler, P., Scheffran, J., Schultz, J.A. et von Uexkull, N. (2019). « Climate as a risk factor for armed conflict ». *Nature*, 571, 193–197. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1300-6>>
- Maharatna, A. (2014). « Food Scarcity and Migration: An Overview ». *Social Research*, 81(2), 277–298. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/26549616>>
- Major, D. et Shivji, S. (2019). « Canada's Military Feeling the Strain Responding to Climate Change ». CBC News, juin 24, 2019. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/politics/canada-s-military-adopting-climate-change-1.5186337>>
- Mallick, B. et Vogt, J. (2012). « Cyclone, coastal society and migration: empirical evidence from Bangladesh ». *International Development Planning Review*, 34(3), 217–240. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3828/idpr.2012.16>>
- Mantua, N., Tohver, I. et Hamlet, A.F. (2010). « Climate change impacts on streamflow extremes and summertime stream temperature and their possible consequences for freshwater salmon habitat in Washington State ». *Climate Change*, 102, 187–223. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-010-9845-2>>
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. et Francis, R.C. (1997). « A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069–1080. Consulté en février 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)>
- Marelle, L., Raut, J. C., Law, K. S. et Duclaux, O. (2018). « Current and Future Arctic Aerosols and Ozone From Remote Emissions and Emerging Local Sources—Modeled Source Contributions and Radiative Effects ». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(22), 12,942–12,963. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2018JD028863>>
- Marin, A.F. et Naess, L.O. (2017). « Climate Change Adaptation Through Humanitarian Aid? Promises, Perils and Potentials of the 'New Humanitarianism' ». *IDS Bulletin*, 48(4). Consulté en février 2021 sur le site <<https://bulletin.ids.ac.uk/index.php/idsbo/article/view/2884/ONLINE%20ARTICLE>>
- Marino, E. et Lazrus, H. (2015). « Migration or Forced Displacement?: The Complex Choices of Climate Change and Disaster Migrants in Shishmaref, Alaska and Nanumea, Tuvalu ». *Human Organization*, 74(4), 341–350. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.17730/0018-7259-74.4.341>>
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N. et Xu, Y. (2019). « Food Security », Chapitre 5 dans *Changement climatique et terres émergées : Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres*, (éds.) P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srcccl/chapter/chapter-5/>>
- McIlgorm, A., Hanna, S., Knapp, G., Le Floc`H, P., Millerd, F. et Pan, M. (2010). « How will climate change alter fishery governance? Insights from seven international case studies ». *Marine Policy*, 34(1), 170–177. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.06.004>>
- McIntosh, M. (2016). « International Agreement Effectiveness: A Case Study Using The 1985 Pacific Salmon Treaty ». University of Oregon. Consulté en février 2021 sur le site <<http://hdl.handle.net/1794/22257>>
- McKinney, M., Baker, L., Buvel, A.M. et Fischer, A. (2010). « Managing transboundary natural resources: an assessment of the need to revise and update the Columbia River Treaty ». *Hastings West-Northwest Journal of Environmental Law and Policy*, 16(2), 307. Consulté en février 2021 sur le site <https://repository.uchastings.edu/hastings_environmental_law_journal/vol16/iss2/2>
- McLeman, R. (2014). « Climate and human migration: Past experiences, future challenges ». Cambridge University Press, Cambridge, 300 p.
- McLeman, R. (2019). « International migration and climate adaptation in an era of hardening borders ». *Nature Climate Change*, 9(12), 911–918. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0634-2>>
- McLeman, R. (2020). « How Will International Migration Policy and Sustainable Development Affect Future Climate-Related Migration? » Transatlantic Council on Migration, Migration Policy Institute, Washington DC. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.migrationpolicy.org/sites/default/files/publications/tcm-climate-migration-mcleman_final.pdf>
- McLeman, R., Moniruzzaman, M. et Akter, N. (2017). « Environmental influences on skilled worker migration from Bangladesh to Canada ». *The Canadian Geographer*, 62(3), 352–371. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/cag.12430>>

- McMichael, C., Dasgupta, S., Ayeb-Karlsson, S. et Kelman, I. (2020). « A review of estimating population exposure to sea-level rise and the relevance for migration ». *Environmental Research Letters*, 15(12), 1–25. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb398>>
- McRae, D. (2007). « Arctic Sovereignty? What is at Stake? » *Behind the Headlines*, 64(1), 1–26. L'Institut canadien des affaires internationales et le Conseil International du Canada. Consulté en février 2021 sur le site <<https://3mea0n49d5363860yn4ri4go-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/11/BTH-64-1-2007.pdf>>
- Meierding, E. (2013). « Climate Change and Conflict: Avoiding Small Talk About the Weather ». *International Studies Review* 15(2), 185–203. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/misr.12030>>
- Melia, N., Haines, K. et Day, J.J. (2017). « Towards seasonal Arctic shipping route predictions ». *Environmental Research Letters*, 12(8), 084005. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7a60>>
- Mendehall, E., C. Hendrix, E. Nyman, P. M. Roberts, J. Robison Hoopes, J. R. Watson, V. W. Y. Lam, et U. R. Sumaila. (2020). « Climate change increases the risk of fisheries conflict ». *Marine Policy* 117 : 103954. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103954>>
- Meredith, M., Sommerkorn, M., Cassotta, S., Derksen, C., Ekaykin, A., Hollowed, A., Kofinas, G., Mackintosh, A., Melbourne-Thomas, J., Muelbert, M.M.C., Ottersen, G., Pritchard, H. et Schuur, E.A.G. (2019). « Polar Regions », Chapitre 3 dans *L'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, (éds.) H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-3-2/>>
- Merkens, J.-L., Reimann, L., Hinkel, J. et Vafeidis, A.T. (2016). « Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways ». *Global and Planetary Change*, 145, 57–66. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.08.009>>
- Mezdour, A., Veronis, L. et McLeman, R. (2015). « Environmental Influences on Haitian Migration to Canada and Connections to Social Inequality: Evidence from Ottawa-Gatineau and Montreal », dans *Environmental Migration and Social Inequality*, (éds.) R. McLeman, J. Shade et T. Faist, T. Springer, Dordrecht, 103–116.
- Miller, K.A. (1996). « Salmon stock variability and the political economy of the Pacific Salmon Treaty ». *Contemporary Economic Policy*, 14, 112–129. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1465-7287.1996.tb00628.x>>
- Miller, K.A. (2007). « Climate variability and tropical tuna: Management challenges for highly migratory fish stocks ». *Marine Policy*, 31(1), 56–70. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2006.05.006>>
- Miller, K., Charles, A., Barange, M., Brander, K., Gallucci, V.F., Gasalla, M.A., Khan, A., Munro, G., Murtugudde, R., Ommen, R.E. et Perry, R.I. (2010). « Climate change, uncertainty, and resilient fisheries: Institutional responses through integrative science ». *Progress in Oceanography*, 87(1-4), 338–346. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2010.09.014>>
- Mills, K., Griffis, R., Haynie, A. et Pecl, G. (2015). « Moving towards climate-ready fishery systems: Regional comparisons of climate adaptation in marine fisheries ». *PICES Press*, 23(2), 14–16. Consulté en février 2021 sur le site <<https://meetings.pices.int/publications/pices-press/volume23/issue2/PPJuly2015.pdf>>
- Mills, K.E., Pershing, A.J., Brown, C.J., Chen, Y., Chiang, F.S., Holland, D.S., Lehtua, S., Nye, J.A., Sun, J.C., Thomas, A.C. et Wahle, R.A. (2013). « Fisheries Management in a Changing Climate Lessons from the 2012 Ocean Heat Wave in the Northwest Atlantic ». *Oceanography*, 26(2), 191–195. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.27>>
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P. et Stouffer, R.J. (2008). « Stationarity Is Dead: Whither Water Management? » *Science*, 319(5863), 573–574. Consulté en février 2021 sur le site <<https://science.sciencemag.org/content/sci/319/5863/573.full.pdf>>
- Ministre de la Défense nationale (2017). Stratégie énergétique et environnementale de la Défense, Maîtriser l'efficacité énergétique et la durabilité : La Défense et les perspectives d'avenir. <https://www.canada.ca/content/dam/dnd-mdn/images/dees2020/2020-23%20Defence%20Energy%20and%20Environment%20Strategy_FR%20-%20Signed.pdf>
- Ministère fédéral des Affaires étrangères d'Allemagne (2013). « Guidelines of the Germany Arctic policy: Assume responsibility, seize opportunities ». Consulté en février 2021 sur le site <https://www.arctic-office.de/fileadmin/user_upload/www.arctic-office.de/PDF_uploads/Germanys_Arctic_policy_guidelines.pdf>
- Ministère des Pêches et Océans Canada (2002). La stratégie sur les océans du Canada : Nos océans, notre avenir. La direction des océans, Ottawa, ON. Consulté en février 2021 sur le site <<http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/264677.pdf>>
- Ministère des Pêches et Océans Canada (2018). Outils d'évaluation des impacts du changement climatique sur les ondes de tempête dans l'Arctique. Consulté en février 2021 sur le site <<https://dfo-mpo.gc.ca/science/rp-pr/accasp-psaccma/projects-projets/006-fra.html>>

- Moser, S.C. et Hart, J.A.F. (2015). « The long arm of climate change: societal teleconnections and the future of climate change impacts studies ». *Climatic Change*, 129(1-2), 13–26. Consulté en février 2021 sur le site <<http://doi.org/10.1007/s10584-015-1328-z>>
- Mosnier, A., Obersteiner, M., Havlik, P., Schmid, E., Khabarov, N., Westphal, M., Valin, H., Frank, S. et Albrecht, F. (2014). « Global food markets, trade and the cost of climate change adaptation ». *Food Security*, 6, 29–44. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1007/s12571-013-0319-z>>
- Muckleston, L. (2003). « International management in the Columbia River system. Technical documents in hydrology: PC-CP series » UNESCO, 12, 55 p. Consulté en février 2021 sur le site <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133292?posInSet=1&queryId=cb29f737-8598-4aa5-9757-c98a100acc1f%C2%BB>>
- Munro, G.R. et Stokes, R.L. (1989). « The Canada-United States Pacific Salmon Treaty », dans *Canadian Oceans Policy: National Strategies and the New Law of the Sea*, (éds.) D.M. McRae et G.R. Munro. University of British Columbia Press, 17–35.
- Munro, G., McDorman, T.L. et McKelvey, R. (1997). « Transboundary Fishery Resources and the Canada-United States Pacific Salmon Treaty ». Canadian-American Center, University of Maine, ME, USA. Consulté en février 2021 sur le site <<https://journals.uvic.ca/index.php/capp/article/view/16342/6988>>
- National Marine Fisheries Service (2019). « *Endangered Species Act*, Section 7(a)(2) Biological Opinion and Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act Essential Fish Habitat Response ». Consultation on the Delegation of Management Authority for Specified Salmon Fisheries to the State of Alaska. NMFS Consultation Number: WCR-2018-10660. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.kcaw.org/wp-content/uploads/2020/04/NMFS-Consultation-Number-WCR-2018-10660.pdf>>
- Nations Unies (1970). « Declaration on principles of international law concerning friendly relations and co-operation among states in accordance with the charter of the United Nations (UN Declaration of Principles), Resolution /2625 adopted by the general assembly, 25th Session ». New York, USA. Consulté en février 2021 sur le site <<https://legal.un.org/avl/ha/dpilfrscun/dpilfrscun.html>>
- Nawrotzki, R. et DeWaard, J. (2016). « Climate shocks and the timing of migration from Mexico ». *Population and Environment*, 38(1), 72–100. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11111-016-0255-x>>
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J. et Nicholls, R.J. (2015). « Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment ». *PLoS ONE*, 10(6), e0131375. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>>
- Ng, A., Andrews, J., Babb, D., Lin, Y. et Becker, A. (2018). « Implications of climate change for shipping: Opening the Arctic seas ». *WIREs Climate Change*, 9(2), e507. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1002/wcc.507>>
- Ng, A.K.Y., Wang, T., Yang, Z., Li, K.X. (2016). « How is Business Adapting to Climate Change Impacts Appropriately? Insight from the Commercial Port Sector ». *Journal of Business Ethics*, 150, 1029–1047. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10551-016-3179-6>>
- Norman, E. (2015). « Governing transboundary waters: Canada, the United States and Indigenous Communities ». Routledge, Londres, 220 p.
- Norman, E. et Bakker, K. (2005). « Drivers and barriers of cooperation in transboundary water governance: A case study of Western Canada and the United States ». Rapport pour the *Walter and Duncan Gordon Foundation*. Consulté en février 2021 sur le site <http://watergovernance.sites.olt.ubc.ca/files/2010/06/Gordon_Foundation_Transboundary_Report.pdf>
- Northwest Power and Conservation Council (2010). « Climate Change Issues », Chapitre 11 dans *Sixth Northwest Conservation and Electric Power Plan*. Northwest Power and Conservation Council, 1–19.
- Nuttall, M. (2005). « Protecting the Arctic: Indigenous peoples and cultural survival ». Routledge, 204 p.
- Nyland, D. et Nodelman, J.R. (2017). La Colombie-Britannique, Chapitre 4 dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, (éds.) K. Palko et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 66–103. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-4f.pdf>>
- Ochudho, T.O. et Lantz, V.A. (2014). « Economic impacts of climate change in the forest sector: a comparison of single-region and multiregional CGE modeling frameworks ». *Canadian Journal of Forest Research*, 44, 449–464. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0317>>
- Ochudho T.O., Lantz, V.A. et Olale, E. (2016). « Economic impacts of climate change considering individual, additive, and simultaneous changes in forest and agriculture sectors in Canada: A dynamic, multi-regional CGE model analysis ». *Forest Policy and Economics*, 63, 43–51. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.12.005>>
- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2015). *Les conséquences économiques du changement climatique*. OECD Publishing, Paris. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/9789264261082-fr>>

- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2016). « 2020 Projections of Climate Finance Towards the USD 100 Billion Goal, Technical Note ». OECD Publishing, Paris. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1787/9789264274204-en>>
- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2018a). « Aid (ODA) disbursements to countries and regions [DAC2a]: Open Data - Bilateral ODA by recipient [DAC2a] ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://stats.oecd.org/Index.aspx?QueryId=42231&lang=en>>
- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2018b). Financement climatique fourni et mobilisé par les pays développés en 2013-2017. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.oecd.org/fr/environnement/financement-climatique-fourni-et-mobilise-par-les-pays-developpes-en-2013-2017-0f7de621-fr.htm>>
- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2018c). « Climate Change: OECD DAC External Development Finance Statistics ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://www.oecd.org/dac/financing-sustainable-development/development-finance-topics/Climate-related-development-finance-in-2018.pdf>>
- OCDE [Organisation de coopération et de développement économiques] (2019). Financement climatique fourni et mobilisé par les pays développés en 2013-2017. OECD Publishing, Paris. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/0f7de621-fr>>
- Oh, C.H. (2017). « How do natural and man-made disasters affect international trade? A country-level and industry-level analysis ». *Journal of Risk Research*, 20(2), 195–217. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13669877.2015.1042496>>
- Olsen, J., Carter, N.A., Dawson, J. (2019). « Community perspectives on the environmental impacts of Arctic shipping: case studies from Russia, Norway and Canada ». *Cogent Social Sciences*, 5(1), 1–20. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1609189>>
- Ommer, R.E. (2007). « Coasts under stress: restructuring and social-ecological health ». McGill-Queen's Press, 592 p.
- Ojea, E., Lester, S. E. et Salgueiro-Otero, D. (2020). « Adaptation of fishing communities to climate-driven shifts in target species ». *One Earth*, 2(6), 544–556. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.012>>
- ONU News (2019). « Climate change recognized as 'threat multiplier', UN Security Council debates its impact on peace ». ONU Info, 25 janvier 2019. Consulté en février 2021 sur le site <<https://news.un.org/en/story/2019/01/1031322>>
- Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation (2018). La situation des marchés des produits agricoles 2018. Commerce agricole, changement climatique et sécurité alimentaire. Rome. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://www.fao.org/publications/soco/2018/fr/>>
- Østhagen, A., Spijkers, J. et Totland, O.A. (2020). « Collapse of cooperation? The North-Atlantic mackerel dispute and lessons for international cooperation on transboundary fish stocks ». *Maritime Studies*, 19, 155–165. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40152-020-00172-4>>
- Østreng, W., Eger, K.M., Fløistad, B., Jørgensen-Dahl, A., Lothe, L., Mejlænder-Larsen, M. et Wergeland, T. (2013). « Shipping in Arctic Waters: A Comparison of the Northeast, Northwest and Trans Polar Passages ». Springer. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-16790-4>>
- Pahl-Wostl, C., Bergkamp, G. et Cross, K. (2009). « Adaptive management of upland rivers facing global change: General insights and specific considerations for the Rhône, in Rosenberg Water Policy Forum (Draft) ». Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück, Germany. Consulté en février 2021 sur le site <<https://lib.icimod.org/api/files/a59f9309-1507-4085-b57d-3cbda5b8c8ba/567.pdf>>
- Paisley, R. (2002). « Adversaries into partners: international water law and the equitable sharing of downstream benefits ». *Melbourne Journal of International Law*, 3(2), 280–300. Consulté en février 2021 sur le site <<http://classic.austlii.edu.au/au/journals/MelbJIL/2002/13.html>>
- Palacios-Abrantes, J., Reygondeau, G., Wabnitz, C. C. et Cheung, W. W. (2020a). « The transboundary nature of the world's exploited marine species ». *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74644-2>>
- Palacios-Abrantes, J., Sumaila, U. R. et Cheung, W. (2020b). « Challenges to transboundary fisheries management in North America under climate change ». *Ecology and Society*, 25(4), 41. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-11743-250441>>
- Palko, K. (2017). Synthèse, Chapitre 2 dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, (éds.) K. Palko et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 12–25. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-2f.pdf>>
- Panikkar, B., Lemmond, B., Else, B. et Murray, M. (2018). « Ice over troubled waters: navigating the Northwest Passage using Inuit knowledge and scientific information ». *Climate Research*, 75(1), 81–94. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3354/cr01501>>

- Parry, J. et Terton, A. (2016). « Trends in Adaptation Planning: Observations from a recent stock-taking review ». International Institute for Sustainable Development. Consulté en mars 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/library/trends-adaptation-planning-observations-recent-stock-taking-review>>
- Pashkevich, A., Dawson, J. et Stewart, E.J. (2015). « Governance of Expedition Cruise Ship Tourism in the Arctic: A Comparison of the Canadian and Russian Arctic ». *Tourism in Marine Environments*, 10(3-4), 225-240. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3727/154427315X14181438892883>>
- Payne, M.R., Hobday, A.J., MacKenzie, B.R., Tommasi, D., Dempsey, D.P., Fässler, S.M.M., Haynie, A.C., Ji, R., Liu, G., Lynch, P.D., Matei, D., Miesner, A.K., Mills, K.E., Strand, K.O. et Villarino, E. (2017). « Lessons from the First Generation of Marine Ecological Forecast Products ». *Frontiers in Marine Science*, 4(289), 1-15. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00289>>
- Pecl, G.T., Araújo, M.B., Bell, J.D., Blanchard, J., Bonebrake, T.C., Chen, I.C., Clark, T.D., Colwell, R.K., Danielson, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R.A., Griffis, R.B., Hobday, A.J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M.A., Jennings, S., Lenoir, J., Linnetved, H.I., Martin, V.Y., McCormack, P.C., McDonald, J., Mitchell, N.J., Mustonen, T., Pandolfi, J.M., Pettorelli, N., Popova, E., Robinson, S.A., Scheffers, B.R., Shaw, J.D., Sorte, C.J.B., Strugnell, J.M., Sunday, J.M., Tuanmu, M.N., Verges, A., Villaneuva, C., Wernberg, T., Wapstra, E. et Williams, S.E. (2017). « Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being ». *Science*, 355(6332), 1-9. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aai9214>>
- Pendakur, K. (2017). Les Territoires du Nord, Chapitre 3 dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, (éds.) K. Palko et D.S. Lemmen. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 27-64. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-3f.pdf>>
- Perry, A.L., Low, P.J., Ellis, J.R. et Reynolds, J.D. (2005). « Climate change and distribution shifts in marine fishes ». *Science*, 308(5730), 1912-1915. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1111322>>
- Peterman, R., Beamesderfer, R. et Bue, B. (2016). « Review of Methods for Forecasting Chinook Salmon Abundance in the Pacific Salmon Treaty Areas ». Pacific Salmon Commission, Technical Report No. 35. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.psc.org/publications/technical-reports/technical-report-series/>>
- Peterson, W., Robert, M. et Bond, N. (2015). « The warm blob-Conditions in the northeastern Pacific Ocean ». *PICES Press*, 23(1), 36-38. Consulté en février 2021 sur le site <<https://meetings.pices.int/publications/pices-press/volume23/issue1/PPJanuary2015.pdf#page=36>>
- PEW Charitable Trusts (2016). « The integrated Arctic corridors framework: Planning for responsible shipping in Canada's Arctic waters ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://www.pewtrusts.org/~media/assets/2016/04/the-integrated-arctic-corridors-framework.pdf>>
- Pezard, S., Tingstad, A. et Hall, A. (2018). « The Future of Arctic Cooperation in a Changing Strategic Environment: Insights from a Scenario-Based Exercise Organised by RAND and Hosted by NUPI ». Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE268.html>>
- Pickard, D., de la Cueva Bueno, P., Olson, E. et Semmens, C. (2019). « Evaluation of Cumulative Effects Assessment Methodologies for Marine Shipping ». Rapport préparé pour Transports Canada par ESSA Technologies Ltd. Consulté en octobre 2020 sur le site <https://www.tc.gc.ca/en/services/marine/documents/EVALUATION_OF_CUMULATIVE_EFFECTS_ASSESSMENT_METHODOLOGIES_FOR_MARINE_SHIPPING_EN-2019-08-26.pdf>
- Pinsky, M.L., Fenichel, E., Fogarty, M., Levin, S., McCay, B., St. Martin, K., Selden, R.L. et Young, T. (2020). « Fish and fisheries in hot water: What is happening and how do we adapt? ». *Population Ecology*, 63(1), 17-26. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/1438-390X.12050>>
- Pinsky, M.L. et Fogarty, M. (2012). « Lagged social-ecological responses to climate and range shifts in fisheries ». *Climate Change*, 115, 883-891. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-012-0599-x>>
- Pinsky, M.L., Reygondeau, G., Caddell, R., Palacios-Abrantes, J., Spijkers, J. et Cheung, W.W.L. (2018). « Preparing ocean governance for species on the move ». *Science*, 360(6394), 1189-1191. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aat2360>>
- Pinsky, M.L., Worm, B., Fogarty, M.J., Sarmiento, J.L. et Levin, S.A. (2013). « Marine Taxa Track Local Climate Velocities ». *Science*, 341(6151), 1239-1242. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.1239352>>
- Pizzolato, L., Howell, S.E., Dawson, J., Laliberté, F. et Copland, L. (2016). « The influence of declining sea ice on shipping activity in the Canadian Arctic ». *Geophysical Research Letters*, 43(23), 12,146-12,154. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2016GL071489>>
- Plouffe, J. (2011). « Canada's tous azimuts Arctic foreign policy ». *The Northern Review*, 33, 69. Consulté en février 2021 sur le site <<https://thenorthernreview.ca/index.php/nr/article/view/184>>
- Polasky, S., Carpenter, S.R., Folke, C. et Keeler, B. (2011). « Decision-making under great uncertainty: environmental management in an era of global change ». *Trends in Ecology and Evolution*, 26, 398-404. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.04.007>>

Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Shoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T., Duarte, C.M., Halpern, B.S., Holding, J., Kappel, C.V., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Shwing, F., Thompson, S.A. et Rochardson, A.J. (2013). « Global imprint of climate change on marine life ». *Nature Climate Change*, 3, 919–925. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1958>>

Poloczanska, E.S., Burrows, M.T., Brown, C.J., Garcia Molinos, J., Halpern, B.S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C.V., Moore, P.J., Rochardson, A.J., Schoeman, D.S. et Sydeman, W.J. (2016). « Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans ». *Frontiers in Marine Science*, 3(62), 1–21. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00062>>

Port of Vancouver (s.d.) « Climate change ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.portvancouver.com/about-us/faq/addressing-climate-change/>>

Porta, L., Abou-Abssi, E., Dawson, J. et Mussells, O. (2017). « Shipping Corridors as a Framework for Advancing Marine Law and Policy in the Canadian Arctic ». *Ocean and Coastal Law Journal*, 22(1), 63–84. Consulté en février 2021 sur le site <<http://digitalcommons.maine.gov/oclj/vol22/iss1/6>>

Programme des Nations Unies pour le développement et le Fonds pour l'environnement mondial (2011). « International Waters : Review of Legal and Institutional Frameworks ». Programme des Nations Unies pour le développement, Global Environmental Finance International Waters Project, 309 p. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/water_governance/international-waters-review-of-legal-and-institutional-frameworks.html>

Programme des Nations Unies pour l'environnement (2017). « The Adaptation Gap Report 2017 ». ONU programme pour l'environnement, Nairobi, Kenya. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.unenvironment.org/resources/adaptation-gap-report-2017>>

Province de la Colombie-Britannique et État de l'Alaska (2015). « Statement of Cooperation on Protection of Transboundary Waters Between The State of Alaska Departments of Environmental Conservation, Fish and Game and Natural Resources And The Province of British Columbia Ministries of Environment, and Energy and Mines ». Consulté en février 2021 sur le site <https://news.gov.bc.ca/files/BC_Alaska_Statement_of_Cooperation_MOU.pdf>

Province de la Colombie-Britannique et État du Montana (2010). « Memorandum of Understanding and Cooperation on Environmental Protection, Climate Action and Energy between the Province of British Columbia and the State of Montana ». Février 18, 2010. Consulté en février 2021 sur le site <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/environmental-assessments/working-with-other-agencies/bc_montana_mou.pdf>

Province de la Colombie-Britannique et État de Washington (1992). « Environmental Cooperation Agreement between The Province of British Columbia and The State of Washington ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-policy-legislation/environmental-policy/bcwaccord.pdf>>

Province de l'Ontario, Gouvernement du Québec et Council of Great Lakes Governors (1985). « The Great Lakes Charter – Principles for the Management of Great Lakes Water Resources ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.internationalwaterlaw.org/documents/regionaldocs/Local-GW-Agreements/1985-GL-Charten.pdf>>

Rao, N., Lawson, E.T., Raditloang, W.N., Solomon, D. et Angula, M.N. (2019). « Gendered vulnerabilities to climate change: insights from the semi-arid regions of Africa and Asia ». *Climate and Development*, 11(1), 14–26. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1372266>>

Rapaport, E., Starkman, S., et Towns, W. (2017). Canada Atlantique, Chapitre 8 dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, (éds.) K. Palko and D.S. Lemmen, Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 218–262. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-8f.pdf>>

République populaire de Chine (2018). « China's Arctic Policy ». The State Council Information Office of the People's Republic of China. Consulté en octobre 2020 sur le site <http://english.gov.cn/archive/white_paper/2018/01/26/content_281476026660336.htm>

Rigaud, K.K., de Sherbinin, A., Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, J., Adamo, S., McCusker, B., Heuser, S. et Midgley, A. (2018). « Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration ». World Bank, Washington, DC. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29461>>

Ringius, L., Torvanger, A. et Underdal, A. (2002). « Burden Sharing and Fairness Principles in International Climate Policy ». *International Environmental Agreements*, 2, 1–22. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1023/A:1015041613785>>

Rollin, A.M. (2013). L'augmentation des prix des aliments entre 2007 et 2012. Statistique Canada, Direction des études analytiques, Division d'analyse économique. No 11-626-X au catalogue No 027. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-626-x/11-626-x2013027-fra.pdf>>

Rothwell, D.R. (2015). « Arctic Sovereignty and its Legal Significance for Canada ». ANU College of Law Research Paper No. 13-19. Consulté en février 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2360364>>

- Rüttinger, L., Smith, D., Stang, G., Tänzler, D. et Vivekananda, J. (2015). « A New Climate for Peace: Taking Action on Climate and Fragility Risks ». Adelphi, International Alert, Woodrow Wilson International Centre for Scholars Studies et the European Institute for Security, Berlin. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.newclimateforpeace.org/>>
- Sack, K. et Schwartz, J. (2018). « Left to Louisiana's Tides, A Village Fights for Time ». *New York Times*, février 24, 2018. New York. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.nytimes.com/interactive/2018/02/24/us/jean-lafitte-floodwaters.html>>
- Samers, M. (2010). *Migration*. Routledge, Londres, 392 p. <<https://doi.org/10.4324/9780203864296>>
- Scott, H., McEvoy, D., Chhetri, P., Basic, F. et Mullett, J. (2013). « Climate change adaptation guidelines for ports. Enhancing the resilience of seaports to a changing climate report series ». National Climate Change Adaptation Research Facility, RMIT University, Gold Coast.
- Selby J., Dahi O.S., Fröhlich C. et Hulme M. (2017). « Climate change and the Syrian civil war revisited ». *Political Geography*, 60, 232–234. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2017.05.007>>
- Seyle, D. (2019). « Operationalizing Positive Peace: Canadian Approaches to International Security Policy and Practice » dans *The Palgrave Handbook of Global Approaches to Peace*, (éds.) A. Kulnazarova et V. Popovski. Palgrave Macmillan, Cham, 193–213. Consulté en août 2020 sur le site <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78905-7_10>
- Shrestha, R.R., Dibike, Y.B. et Prowse, T.D. (2012). « Modelling of climate-induced hydrologic changes in the Lake Winnipeg watershed ». *Journal of Great Lakes Research*, 38, 83–94. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2011.02.004>>
- Smith, L.C. et Stephenson, S.R. (2013). « New Trans-Arctic shipping routes navigable by midcentury ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(13), E1191–E1195. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1214212110>>
- Sneddon, C. et Fox, C. (2006). « Rethinking transboundary waters: A critical hydropolitics of the Mekong basin ». *Political Geography*, 25(2), 181–202. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2005.11.002>>
- Sohngen, B. et Tian, X. (2016). « Global climate change impacts on forests and markets ». *Forest Policy and Economics*, 72, 18–26. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.011>>
- Spijkers, J. et Boonstra, W.J. (2017). « Environmental change and social conflict: the northeast Atlantic mackerel dispute ». *Regional Environmental Change*, 17, 1835–1851. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-017-1150-4>>
- Statistique Canada (2018a). *Commerce selon les caractéristiques des importateurs de biens*, 2017. Le Quotidien, Friday, mai 25, 2018. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/180525/dq180525b-fra.htm>>
- Statistique Canada (2018b). « Trade by exporter characteristics: Goods, 2017 ». Le Quotidien, Friday, mai 25, 2018. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/180525/dq180525a-fra.htm>>
- Stephan, G. et Schenker, O. (2012). « International Trade and the Adaptation to Climate Change and Variability ». Centre for European Economic Research. Discussion Paper No. 12-008. Consulté en février 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2014657>>
- Stockholm Environment Institute (2013). « Adaptation without borders? How understanding indirect impacts could change countries' approach to climate risks ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/Climate/SEI-DB-2013-Adaptation-Without-Borders.pdf>>
- Stockholm Environment Institute (2018). « Meeting the global challenge of adaptation by addressing transboundary climate risk. Discussion Brief – April 2018 ». Consulté en avril 2021 sur le site <<https://adaptationwithoutborders.org/sites/weadapt.org/files/meetingtheglobalchallengeofadaptation.pdf>>
- Stoett, P.J. (2018) « Substantive but inconsistent: Canada's role in global environmental governance, 1968–2017 ». *Canadian Foreign Policy Journal*, 24(3), 316–328. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1080/11926422.2018.1462722>>
- Stojanov, R., Boas, I., Kelman, I. et Duži, B. (2017). « Local expert experiences and perceptions of environmentally induced migration from Bangladesh to India ». *Asia Pacific Viewpoint*, 58(3), 347–361. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1111/apv.12156>>
- Stoner, J.D., Lorenz, D.L. et Wiche, G.J. (1993). « Red River of the North Basin, Minnesota, North Dakota, and South Dakota ». *Journal of the American Water Resources Association*, 29(4), 575–615. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1993.tb03229.x>>
- Suckall, N., Fraser, E. et Forster, P. (2017). « Reduced migration under climate change: evidence from Malawi using an aspirations and capabilities framework ». *Climate and Development*, 9(4), 298–312. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1149441>>
- Sumaila, U.R. (2005). « Differences in economic perspectives and the implementation of ecosystem-based management of marine resources ». *Marine Ecology Progress Series*, 300, 279–282. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.int-res.com/articles/meps_oa/m300p241.pdf>

- Sumaila, U.R., Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Pauly, D. et Herrick, S. (2011). « Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries ». *Nature Climate Change*, 1, 449–456. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1301>>
- Sumaila, U.R., Palacios-Abrantes, J., & Cheung, W. (2020). « Climate change, shifting threat points, and the management of transboundary fish stocks ». *Ecology and Society*, 25(4), 40. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.5751/ES-11660-250440>>
- Surminski, S., Di Mauro, M., Baglee, A., Connell, R., Hankinson, J., Haworth, A., Ingirige, B. et Proverbs, D. (2018). « Assessing climate risks across different businesses and industries: an investigation of methodological challenges at national scale for the UK ». *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2121). Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1098/rsta.2017.0307>>
- Szewczyk, W., Ciscar, J.C., Mongelli, I. et Soria, A. (2018). « JRC PESETA III project: Economic integration and spillover analysis ». EUR 29456 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Consulté en octobre 2020 sur le site <<http://doi.org/10.2760/514048>>
- Szuwalski, C.S. et Hollowed, A.B. (2016). « Climate change and non-stationary population processes in fisheries management ». *ICES Journal of Marine Science*, 73(5), 1297–1305. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv229>>
- Tarasuk, V., Mitchell, A. et Dachner, N. (2011). « Household food insecurity in Canada, 2011. Toronto: Research to identify policy options to reduce food insecurity (PROOF) ». Consulté en février 2021 sur le site <<https://proof.utoronto.ca/resources/proof-annual-reports/annual-report/>>
- Temby, O., Rastogi, A., Sandall, J., Cooksey, R. et Hickey, G.M. (2015). « Interagency Trust and Communication in the Transboundary Governance of Pacific Salmon Fisheries ». *Review of Policy Research*, 32, 79–99. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/ropr.12108>>
- The Economist (2020). « Stormy waters: Ports are highly exposed to climate change and often ill-prepared ». Finance & Economics, Sep 12th 2020 édition. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.economist.com/finance-and-economics/2020/09/12/ports-are-highly-exposed-to-climate-change-and-often-ill-prepared>>
- The Maritime Executive (2016). « Hurtigruten CEO Calls for Limits on Arctic Cruise Ships ». The Maritime Executive, août 22, 2016. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.maritime-executive.com/article/hurtigruten-ceo-calls-for-limits-on-arctic-cruise-ships>>
- Theisen, O.M. (2017). « Climate change and violence: insights from political science ». *Current Climate Change Reports*, 3(4), 210–221. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40641-017-0079-5>>
- Timmerman, J.G. et Bernardini, F. (2009). « Perspectives on water and climate change adaptation: Adapting to climate change in transboundary water management, 5th World Water Forum ». Consulté en février 2021 sur le site <https://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/Library/Publications_and_reports/Climate_Change/PersPap_06_Transboundary_Water_Management.pdf>
- Tomlinson, B. (2020). « The Reality of Canada's International Climate Finance, 2020: Setting the Stage for Canada's Post-2020 Climate Finance ». *AidWatch Canada*. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://aidwatchcanada.ca/wp-content/uploads/2020/08/September-2020-The-Reality-of-Canadas-Climate-Finance-1.pdf>>
- Trabacchi, C., Koh, J., Shi, S. et Guelig, T. (2020). « Adaptation Solutions Taxonomy ». Consulté en février 2021 sur le site <<http://dx.doi.org/10.18235/0002556>>
- Transports Canada (2017). Les Transports au Canada 2017. Consulté en août 2020 sur le site <<https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/transparence/gestion-rapports-ministeriels/rapports-annuels-transports-canada/transports-canada-2017>>
- Trostle, R. (2011). « Why have food commodity prices risen again? » United States Department of Agriculture, WRS-1103. DIANE Publishing, 29 p. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/40481/7392_wrs1103.pdf?v=5299.5>
- Trudeau, J. (2020). Lettre de mandat du ministre de la Défense nationale. 13 décembre 2019. Cabinet du Premier ministre. Consulté en février 2021 sur le site <<https://pm.gc.ca/fr/lettres-de-mandat/2019/12/13/lettre-de-mandat-du-ministre-de-la-defense-nationale>>
- United States, Executive Office of the President (Joseph R. Biden Jr.) (2021). « EO 14008 : Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad. 27 Jan. 2021. 86 FR 11849, 7619-7633 ». Consulté en mars 2021 sur le site <<https://www.federalregister.gov/d/2021-02177>>
- Université de Dalhousie et Université de Guelph (2019). Rapport canadien sur les prix alimentaires à la consommation 2019. Consulté en février 2021 sur le site <<https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/management/News/News%20%20Events/Canada%20Food%20Price%20Report%20ENG%202019.pdf>>
- Université de Dalhousie et Université de Guelph (2020). Rapport annuel sur les prix alimentaires canadiens 10E édition 2020. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/sites/agri-food/Canada%20Food%20Price%20Report%20Eng%202020.pdf>>



- Université de Dalhousie et Université de Guelph (2021). « Canada's Food Price Report 2021 ». Consulté en mars 2021 sur le site <[https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/sites/agri-food/Food%20Price%20Report%202021%20-%20EN%20\(December%208\).pdf](https://cdn.dal.ca/content/dam/dalhousie/pdf/sites/agri-food/Food%20Price%20Report%202021%20-%20EN%20(December%208).pdf)>
- U.S. Department of Defense (2014). « Quadrennial defense review 2014 ». U.S. Department of Defense, Arlington, VA. Consulté en février 2021 sur le site <https://archive.defense.gov/pubs/2014_quadrennial_defense_review.pdf>
- van Hear, N., Bakewell, O. et Long, K. (2018). « Push-pull plus: reconsidering the drivers of migration ». *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 44(6), 927–944. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1080/1369183X.2017.1384135>>
- Veronis, L. (2014). « Somali Refugees Show How Conflict, Gender, Environmental Scarcity Become Entwined ». *New Security Beat*, 19 août 2014. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.newsecuritybeat.org/2014/08/experience-somali-refugees-shows-conflict-gender-environmental-scarcity-entwined/>>
- Veronis, L. et McLeman, R. (2014). « Environmental influences on African migration to Canada: Focus group findings from Ottawa-Gatineau ». *Population and Environment*, 36(2), 234–251. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11111-014-0214-3>>
- Vincent, K., Wanjiru, L., Aubry, A., Mershon, A., Nyandiga, C., Cull, T. et Banda, K. (2010). « Gender, climate change and community-based adaptation: a guidebook for designing and implementing gender-sensitive community-based adaptation programmes and projects ». Programme des Nations Unies pour le développement, New York. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/climate_change/gender/gender-climate-change-and-community-based-adaptation-guidebook.html>
- Wallin, P. et Dallaire, R. (2011). *Souveraineté et sécurité dans l'Arctique canadien : Rapport provisoire*. Comité sénatorial permanent de la sécurité nationale et de la défense. Consulté en février 2021 sur le site <http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/sen/yc33-0/YC33-0-403-7-fra.pdf>
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S. (éds.) (2014). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatifs aux impacts et à l'adaptation*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 286 p. Consulté en février 2021 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatifs-aux-impacts-et/16310?_ga=2.96319967.2136258072.1615842640-1518615377.1612895888>
- Weatherdon, L.V., Ota, Y., Jones, M.C., Close, D.A. et Cheung, W.W.L. (2016). « Projected Scenarios for Coastal First Nations' Fisheries Catch Potential under Climate Change: Management Challenges and Opportunities ». *PLoS One*, 11(1), e0145285. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145285>>
- Wenar, L. (2015). « Rights » dans *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, (éd.) E.N. Zalta. Consulté en août 2020 sur le site <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2015/entries/rights/>>
- Wendebourg, M.R. (2020). « Southern Ocean fishery management - Is CCAMLR addressing the challenges posed by climate change? » *Marine Policy* 118:103847. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103847>>
- Wenz, L. et Leverman, A. (2016). « Enhanced economic connectivity to foster heat stress-related losses ». *Science Advances*, 2(6), e1501026. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1126/sciadv.1501026>>
- Werrell, C. et Femia, F. (2019). « The Responsibility to Prepare and Prevent: A Climate Security Governance Framework for the 21st Century ». The Center for Climate and Security. Consulté en février 2021 sur le site <<https://climateandsecurity.org/the-responsibility-to-prepare-and-prevent-a-climate-security-governance-framework-for-the-21st-century/>>
- Williams, A., Darcy, A.O. et Wilkinson, A. (2011). « The future of Arctic enterprise: Long-term outlook and implications ». Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford. Consulté en février 2021 sur le site <<https://www.smithschool.ox.ac.uk/publications/reports/ssee-arctic-forecasting-study-november-2011.pdf>>
- Wolf, A.T. (1998). « Conflict and cooperation along international waterways ». *Water Policy*, 1(2), 251–265. Consulté en février 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(98\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(98)00019-1)>
- Wood, C.M. et McDonald, D.G. (1997). « Global Warming: Implications for Freshwater and Marine Fish ». Cambridge University Press, Cambridge, RU, 425 p. Consulté en février 2021 sur le site <<https://doi.org/10.1017/CB09780511983375>>
- Wright, S. (2014). « Our ice is vanishing = Sikuvut Nunguliqtuq : a history of Inuit, newcomers, and climate change ». McGill-Queen's University Press, Montréal, 398 p.
- Yanagida, J.A. (1987). « The Pacific Salmon Treaty ». *American Journal of International Law*, 81, 577–592. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2307/2202013>>
- Yukon River Panel (s.d.). « Yukon River Salmon Agreement ». Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.yukonriverpanel.com/publications/yukon-river-salmon-agreement/>>
- Zellen, B. (2010). « The Inuit, the State, and the Battle for the Arctic (Sacred Earth) ». *Georgetown Journal of International Affairs*, 11(1), 57–64. Consulté en février 2021 sur le site <<https://georgetown.box.com/s/6dtb5c66g0j7rjqwmgnp>>



Zhang, Z., Li, N., Xu, H., et Chen, X. (2018). « Analysis of the economic ripple effect of the United States on the world due to future climate change ». *Earth's Future*, 6, 828–840. Consulté en août 2020 sur le site <<http://doi.org/10.1029/2018EF000839>>

Zickgraf, C. (2018). « Immobility », Chapitre 5 dans *Routledge Handbook of Environmental Displacement and Migration*, (éds.) R. McLeman et F. Gemenne. Routledge, Londres.

Zuma, B.M., Luyt, C.D., Chirenda, T. et Tandlich, R. (2012). « Flood Disaster Management in South Africa. Legislative Framework and Current Challenges ». Actes de la conférence : Conférence internationale sur les sciences de la vie appliquées, Turquie, septembre 2012.