

Gestion adaptive des inondations

De la fragilité à la flexibilité



Environnement et
Changement climatique Canada

Environment and
Climate Change Canada

Canada

No de cat. : En4-805/2026F-PDF
ISBN : 978-1-100-00113-5

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
Place Vincent-Massey
351, boulevard Saint-Joseph
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Ligne sans frais : 1-800-668-6767
Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par
la ministre de l'Environnement, du Changement climatique et de la Nature, 2026

Also available in English

Gestion adaptative des inondations

De la fragilité à la flexibilité

Rapport final

31 juillet 2023

ebbwater

This project was undertaken with the financial support of:
Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada



Table des matières

1 Le défi des inondations	3
1.1 ÉVOLUTION DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	5
1.2 ÉVOLUTION DES RISQUES ET DE L'EXPOSITION LIÉS AUX MODIFICATIONS DE LA COUVERTURE TERRESTRE ET DE L'UTILISATION DES TERRES	6
2 La gestion des inondations : une responsabilité	7
2.1 MODÈLE DE COUCHE.....	8
2.2 PARADOXE DU DÉVELOPPEMENT SÛR.....	8
3 Des incertitudes croissantes	9
3.1 INCERTITUDE DU CLIMAT ET DES RISQUES	10
3.2 INCERTITUDE LIÉE À L'EXPOSITION AUX INONDATIONS.....	11
3.3 CHOCS ET PERTURBATIONS IMPRÉVUS.....	11
4 La fragilité actuelle du statu quo en matière de gestion des inondations	12
4.1 FIABILITÉ ET FRAGILITÉ DU SYSTÈME.....	13
4.2 TRAJECTOIRES BIEN ÉTABLIES	13
5 Une solution : passer d'une fragilité bien établie à une flexibilité adaptative	14
5.1 ACCEPTATION DE L'INCERTITUDE FUTURE	15
5.2 RECONNAÎTRE LES CHOCS FUTURS	15
5.3 ÉLARGIR LA BOÎTE À OUTILS.....	15
5.3.1 La valeur des approches de réduction des risques fondées sur l'utilisation des terres.....	15
5.3.2 La valeur des solutions fondées sur la nature	15
5.4 OPTIONS RÉVERSIBLES ET FLEXIBLES	15
5.4.1 Planifier la flexibilité des trajectoires	16
5.5 OPTIONS SANS REGRET.....	16
5.6 OSER ET PROGRESSER.....	16
6 Conclusion	17
Références	19

Droit d'auteur

Tout le contenu présenté dans ce rapport est fourni sous une licence Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0, à l'exception de tout contenu fourni par des tiers. Cette licence permet aux utilisateurs de copier et de redistribuer le contenu sur n'importe quel support ou dans n'importe quel format, selon les modalités suivantes :

- › Citer ce rapport en indiquant la source appropriée (voir ci-dessous).
- › Ne pas utiliser le contenu à des fins commerciales.
- › Si vous remixez ou transformez le contenu ou en ajoutez, vous devez distribuer vos contributions sous la même licence.

Information de citation privilégiée : Ebbwater Consulting Inc. 2023. Gestion adaptative des inondations : De la fragilité à la flexibilité. Préparé pour Environnement et Changement climatique Canada. Juillet 2023.

Remerciements

Le soutien financier de ce projet provient d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) dans le cadre du Programme de cartographie des inondations.

Ce rapport a été principalement rédigé par Tamsin Lyle, directrice d'Ebbwater Consulting Inc. Les auteurs souhaitent remercier l'équipe d'ECCC pour son soutien, et en particulier Katie Slimmon (gestionnaire de projet), qui les a guidés tout au long du projet. Sheila Ball et Joel Trubilowicz ont également apporté une contribution inestimable au document. La conception du document a été réalisée par RoxyDesign.

Toutes les photos proviennent du lac Sumas, novembre 2021. Images d'Ebbwater Consulting Inc.

Ebbwater tient à souligner que ce rapport a été rédigé dans les bureaux d'Ebbwater Consulting Inc., situés sur le territoire traditionnel non cédé du peuple Salish de la Côte (Musqueam, Skwxwú7mesh et Tsleil-Waututh).

ebbwater

Ebbwater Consulting Inc.
510 – 119, rue West Pender
Vancouver, C.-B. V6B 1S5
www.ebbwater.ca

Permis d'EGBC 100929
Numéro du projet : P260

This project was undertaken with the financial support of:
Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada

The background is a teal color with a wavy, water-like texture. On the right side, there is a large, white, geometric shape that resembles a stylized '1' or a corner bracket, extending from the top to the bottom of the page.

Le défi des inondations

1 Le défi des inondations

Les inondations constituent l'aléa naturel le plus fréquent au Canada et représentent la plus grande partie des coûts annuels de reprise après sinistre (McCleary, 2022; Sécurité publique Canada, 2022a). En 2021 seulement, des réclamations liées aux inondations totalisant 4,5 G\$ ont été déposées dans le cadre des Accords d'aide financière en cas de catastrophe du gouvernement du Canada (Sécurité publique Canada, 2022b), ce qui ne représente qu'une partie des coûts financiers totaux. Bien sûr, les coûts financiers ne décrivent qu'une partie des effets à court et à long terme des inondations. Ce phénomène peut entraîner la perte et la perturbation de vies humaines, la déconnexion des réseaux sociaux, ainsi que des dommages aux systèmes naturels, pour n'en mentionner que quelques-uns des effets.

Il est possible de faire des avancées pour limiter les dommages causés par les inondations au Canada. Des efforts concertés seront nécessaires pour mieux analyser la situation, ainsi que pour trouver des solutions d'atténuation des inondations les mieux adaptées aux défis futurs. Ce document d'information fournit un point de départ pour amorcer une transition vers des approches adaptatives en matière de gestion des inondations.

Le débordement des plans d'eau n'est pas un problème en soi; en fait, les inondations apportent de nombreux avantages à un écosystème naturel. Cependant, lorsque les eaux de crue entrent en contact avec ce qui nous est cher dans la plaine inondable, provoquant des dommages et des conséquences néfastes, cela suscite des inquiétudes légitimes. Le terme « risque » est utilisé pour décrire ces interactions.

Le risque représente la perte de vies humaines, les blessures, la destruction des actifs ou les dommages potentiels qui pourraient survenir dans un système, une société ou une communauté, déterminés de manière probabiliste en fonction du danger, de l'exposition et de la vulnérabilité (NURRC, 2017; ONU, 2016).

L'atténuation des risques d'inondation est essentielle pour en diminuer les impacts sur les communautés touchées et réduire la pression sur les fonds publics. En investissant de manière proactive dans des activités d'atténuation des inondations, les communautés s'assurent de réaliser des investissements pratiques dans leur croissance et leur prospérité futures, réduisant ainsi le potentiel de coûts substantiels de reprise après sinistre, de pertes de productivité, de pertes économiques, de destruction de biens culturels non financiers, de dommages causés à l'environnement, de blessures et de décès.

L'atténuation des risques d'inondation est compliquée par le fait qu'ils évoluent constamment. Les composants des risques (danger, exposition et vulnérabilité) sont tous susceptibles de changer au fil du temps.



Figure 11: Modèle simple de risque.

Dans un modèle de risque, l'ampleur du risque est définie par la surface totale d'un triangle dont les côtés sont l'aléa (dans le cas présent, les inondations), l'exposition (c'est-à-dire les actifs qui nous sont chers et qui sont exposés aux eaux de crue) et la vulnérabilité de ces actifs aux dommages causés par les eaux de crue.

11 Évolution des risques liés aux changements climatiques

Le monde se réchauffe. Les températures moyennes mondiales augmentent régulièrement depuis des décennies, avec une augmentation moyenne estimée de 0,85 °C depuis 1880 (Bush et Lemmen, 2019). Le rythme des changements climatiques s'intensifie avec le temps, les huit années les plus chaudes jamais enregistrées s'étant toutes produites depuis 2015 (Organisation météorologique mondiale, 2023). Ce phénomène résulte des interventions humaines qui affectent le système climatique sous la forme d'émissions de gaz à effet de serre (GES).

Ces augmentations de la température du globe ont des conséquences concrètes sur les caractéristiques des risques d'inondation au Canada. L'élévation du niveau de la mer augmente le risque global le long des nombreuses côtes du Canada (voir la figure 1-2) (James et coll., 2021). L'évolution des précipitations et des températures affecte également les risques d'inondations fluviales et pluviales (inondations dues à des pluies intenses) dans l'ensemble du pays (voir la figure 1-2). Gaur et coll. (2018) ont montré des changements dans l'ampleur et la chronologie des inondations au Canada en fonction des changements climatiques futurs. Ils estiment qu'à l'échelle régionale, l'ampleur des inondations aura tendance à augmenter dans le nord du pays ainsi que dans le sud de l'Ontario, tandis que les Prairies et le nord-ouest de l'Ontario connaîtront une réduction de la fréquence de crue. Ils soulignent également que les régions du Canada qui connaissent généralement des inondations provoquées par la fonte des neiges (c'est-à-dire des régimes nivaux) sont susceptibles de connaître un débit de pointe de crue plus tôt dans la saison.

Ces divers changements dans les risques d'inondation au fil du temps et à travers le pays confèrent au profil de risque d'inondation du Canada une dynamique constante.

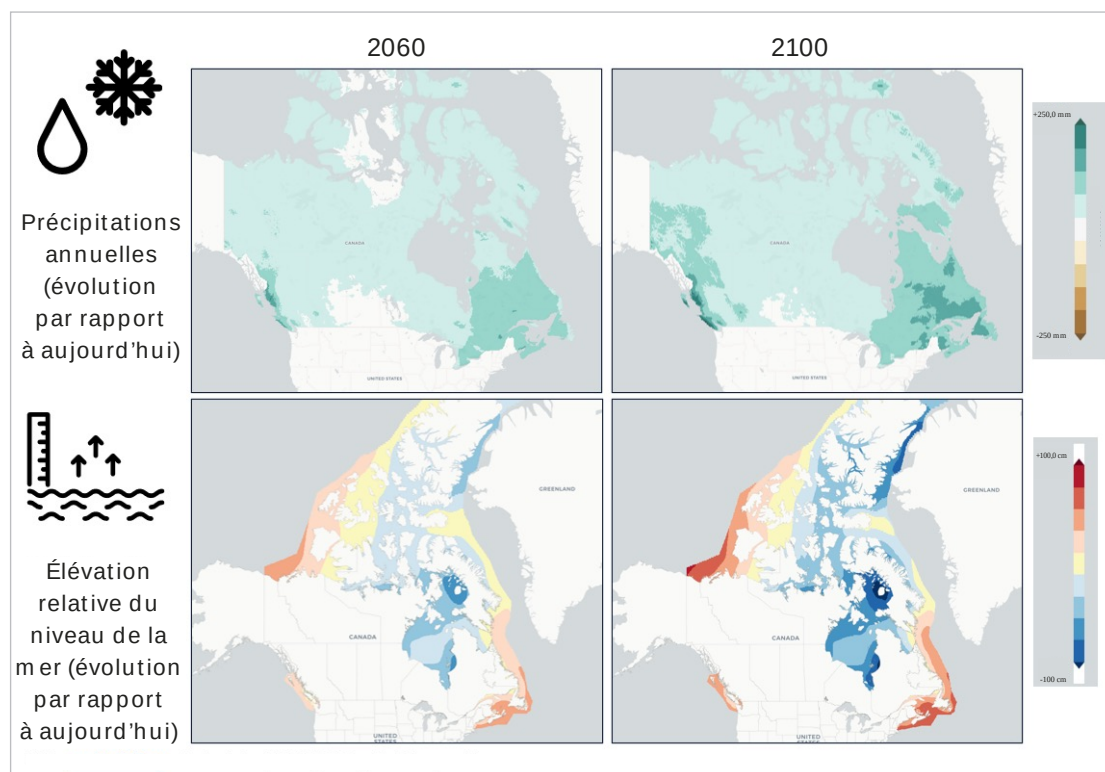


Figure 1-2 : Changements climatiques et évolution des risques d'inondation.
(Toutes les données : www.donneesclimatiques.ca, émissions modérées [SSP2-4.5],
CMIP 6, représentation des données sur une grille)

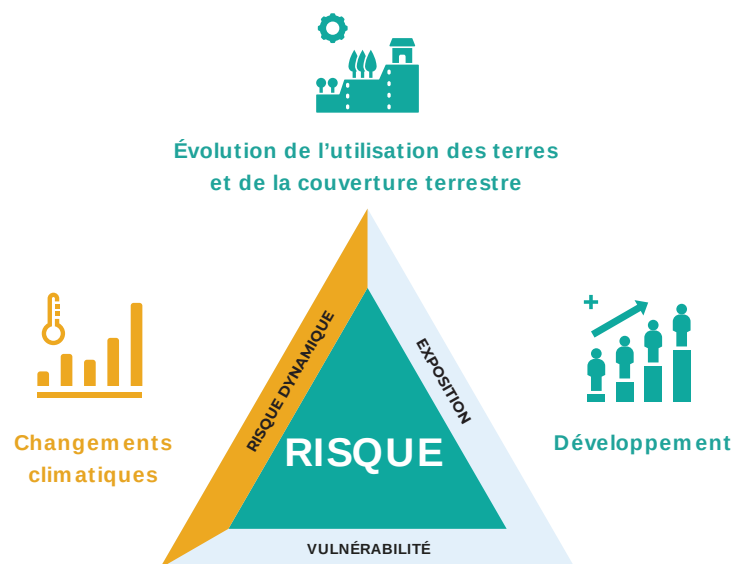


Figure 1-3 : Modèle simple de risque montrant l'évolution du danger avec les changements climatiques.

12 Évolution des risques et de l'exposition liés aux modifications de la couverture terrestre et de l'utilisation des terres

À l'instar des risques climatiques, la couverture terrestre et l'utilisation des terres au Canada évoluent. Entre 2010 et 2015, une importante évolution des écosystèmes naturels et des terres agricoles vers des zones urbaines et suburbaines a été observée, et une évolution encore plus importante des écosystèmes naturels vers des terres agricoles a été constatée (voir la figure 1-4).

Cette évolution de la couverture terrestre et de l'utilisation des terres entraîne des modifications de l'hydrologie, en particulier sur des échelles de temps plus courtes (Y. Li et coll., 2022; Ross et Randhir, 2022). Ces changements hydrologiques ont naturellement une incidence sur les risques d'inondation au fil du temps.

Il est important de noter que l'évolution de l'utilisation des terres exacerbe l'évolution des risques; le fait de remplacer les écosystèmes naturels par des terres agricoles et des zones urbaines et suburbaines augmente constamment l'exposition et modifie les risques. Des zones autrefois dépourvues d'actifs de valeur vulnérables abritent aujourd'hui des personnes, des communautés et des infrastructures essentielles.

Les Canadiens sont aujourd'hui confrontés à un risque réel d'inondation, qui évolue constamment dans le temps et l'espace.

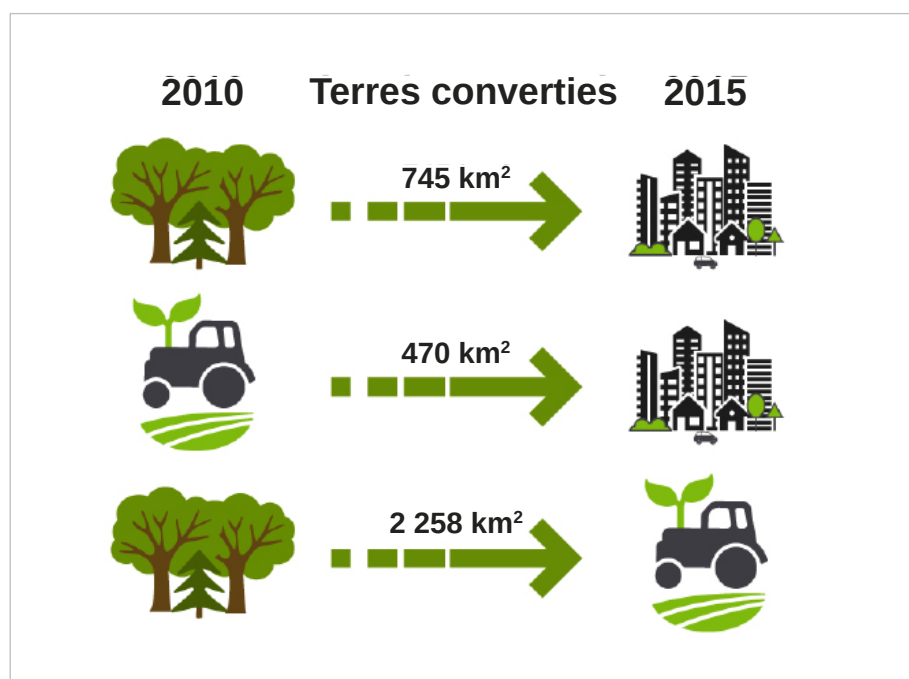


Figure 1-4 : Évolution de la couverture terrestre au Canada
(Environnement et Changement climatique Canada, [2021]. Changement d'affectation des terres : Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement. Figure 1)

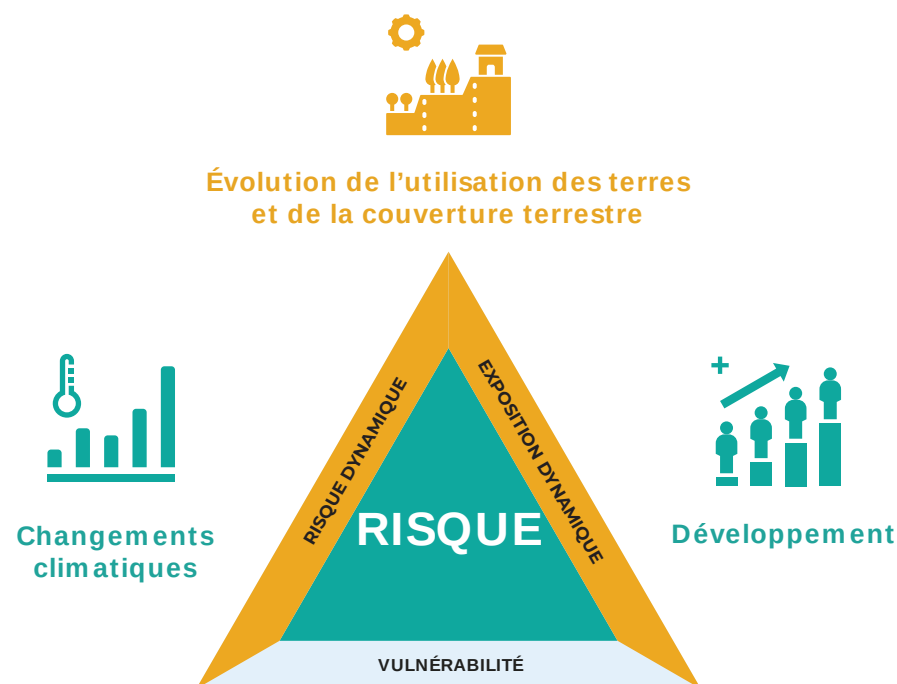
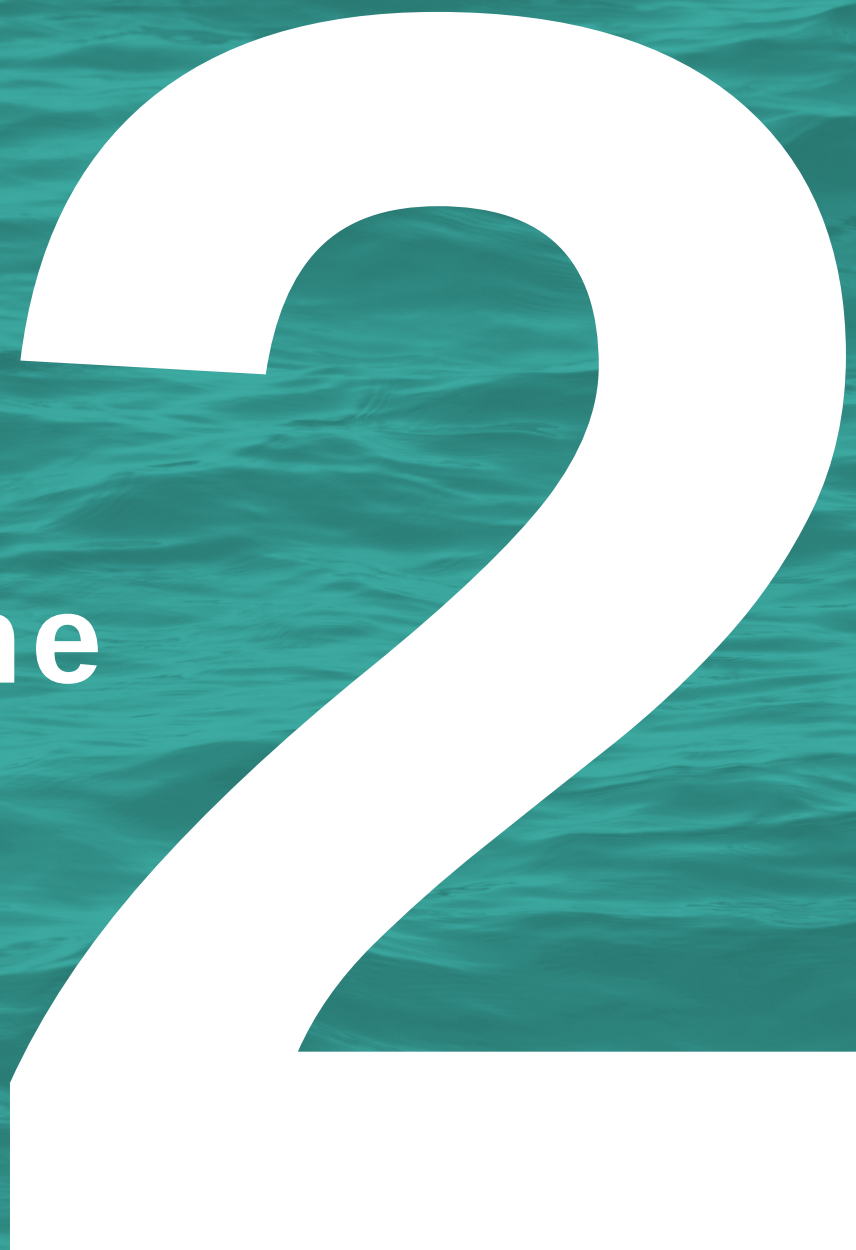


Figure 1-5 : Modèle simple de risque montrant l'évolution du danger et de l'exposition en fonction de l'évolution de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre.

La gestion des inondations : une responsabilité



2. La gestion des inondations : une responsabilité

Afin de réduire les risques d'inondation, les êtres humains adaptent et gèrent le paysage et les activités qui se déroulent dans les zones inondables. Ces modifications du paysage ont d'importantes implications à long terme.

La gestion des inondations est le « processus de collecte de données et de renseignements, d'analyse et d'évaluation des risques, d'évaluation des options, ainsi que de prise, de mise en œuvre et de révision de décisions visant à réduire, contrôler, accepter ou redistribuer les risques d'inondation » [traduction libre] (Sayers et coll., 2014).

2.1 Modèle de couche

Les changements dans le paysage se produisent sur des échelles de temps variées. Les systèmes naturels fluctuent sur des siècles et des millénaires; les rivières serpentent et se divisent, et les deltas se forment au fil du temps. Les interventions humaines affectent le paysage pendant des périodes plus courtes, mais importantes. Les infrastructures de réseau comme les routes linéaires et les voies ferrées, ainsi que les lieux de rassemblement essentiels (p. ex., bibliothèques, écoles) et les centres d'infrastructures essentiels (p. ex., hôpitaux, usines de traitement de l'eau), une fois dans le paysage, dicteront l'utilisation des terres à l'échelle des décennies et des siècles. L'occupation à petite échelle, comme la construction et l'utilisation de bâtiments sur les terres, se produit sur un laps de temps encore plus court, de l'ordre de quelques dizaines d'années. Ces divers processus et utilisations des terres peuvent être considérés comme s'empilant les uns sur les autres dans un « modèle de couche » (X Li et coll., 2012) (voir la figure 2-1).

Il est important de noter que certaines mesures de gestion des inondations, en particulier les dispositifs de contrôle structurels des inondations, se situent dans la « couche » intermédiaire du réseau. En effet, cela signifie que les décisions en matière de gestion des inondations peuvent affecter les générations à venir. Les décisions prises dans les années 1950, à l'époque des grands travaux d'ingénierie au Canada, affectent encore aujourd'hui les risques d'inondation ainsi que l'utilisation et l'occupation des terres (Lyle, 2001). De même, les décisions prises aujourd'hui marqueront le paysage au cours du siècle prochain. En somme, les décisions en matière de gestion des inondations relèvent d'une responsabilité à long terme.

2.2 Paradoxe du développement sûr

En plus de poser les fondations d'une couche de réseau par le biais d'infrastructures de protection contre les inondations, les décisions en matière de gestion des inondations peuvent également entraîner des augmentations involontaires des risques, ce qui est connu sous le nom de « paradoxe du développement sûr » (parfois également appelé « l'effet de levée », « le cycle d'ingénierie en série » ou le « dilemme de sécurité »). Tous décrivent qu'une perception « accrue de la sécurité peut induire un développement accru [dans les zones à haut risque], conduisant en fin de compte à des pertes plus importantes en cas de défaillance des protections structurelles en place » [traduction libre] (Breen et coll., 2022). Par exemple, la construction d'une digue donne naturellement l'impression que le risque d'inondation est écarté, ce qui incite à développer les terres situées derrière la digue. Cela entraîne une augmentation de l'exposition et potentiellement du risque, qui se concrétisera en cas de défaillance des infrastructures de lutte contre les inondations.

Ce concept s'appuie sur l'idée que la gestion des inondations est une responsabilité fondamentale et que les décisions relatives aux inondations doivent être prises de manière réfléchie.

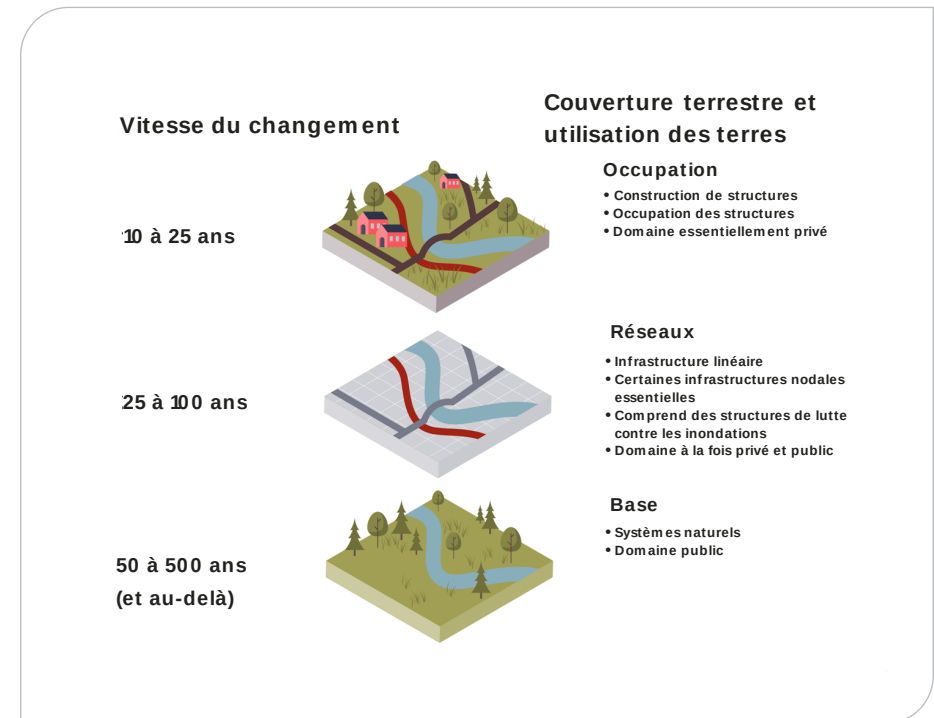


Figure 2-1: Modèle de couche d'utilisation des terres dans l'optique de l'atténuation des inondations.

Des incertitudes croissantes



3. Des incertitudes croissantes

Lorsque les responsables de la planification des inondations d'aujourd'hui s'assoient avec leurs collègues pour prendre des décisions relatives à la réduction des risques d'inondation, ils mettent en place des mesures qui auront des répercussions sur plusieurs décennies.

Ils doivent donc être conscients de ce à quoi l'avenir pourrait ressembler afin de s'assurer que les investissements d'aujourd'hui seront toujours utiles à l'avenir. De plus, comme décrit ci-dessus, il existe un défi supplémentaire : le risque d'inondation qui doit être atténué évolue constamment dans le temps, d'une manière intrinsèquement incertaine.

L'avenir est incertain, et pas seulement en raison des changements climatiques. Le monde continuera d'être mis à l'épreuve par des chocs locaux et mondiaux et par des facteurs de stress liés à d'autres risques – pandémies, tremblements de terre et guerres, pour n'en citer que quelques-uns. Ceux-ci créent à leur tour une incertitude quant à l'avenir politique et financier du pays et du monde entier.

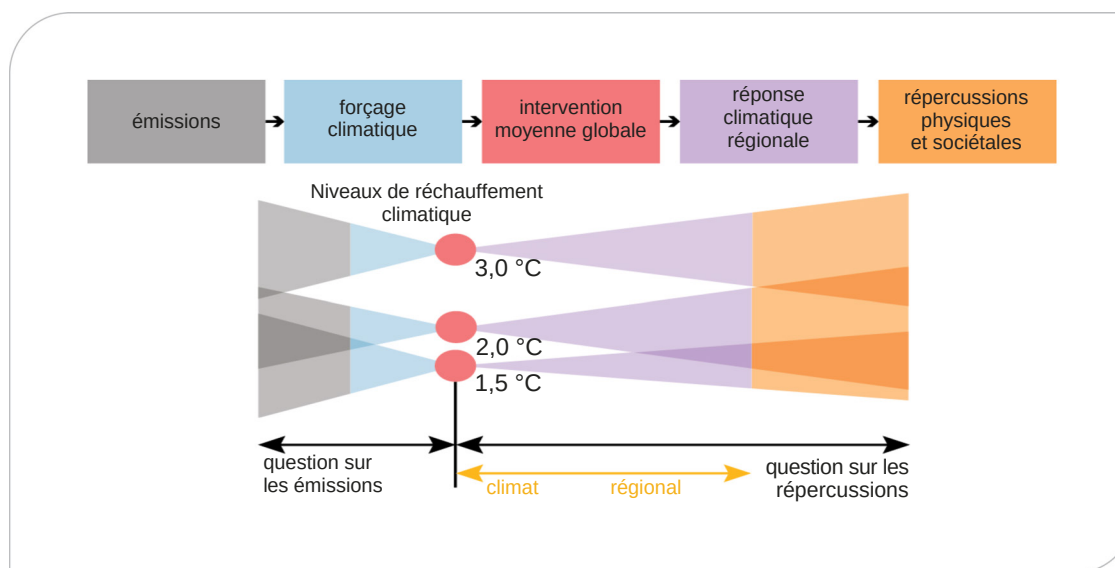


Figure 3-1: Représentation schématique de la relation entre les scénarios d'émissions, les niveaux de réchauffement climatique, les interventions régionales et les impacts. (Encadré 11.1, figure 1 du GIEC, 2021)

3.1 Incertitude du climat et des risques

L'incertitude associée aux projections climatiques constitue le principal défi lié à la conception de mesures d'atténuation des catastrophes pour des conditions climatiques futures. Cela est dû à l'incertitude associée aux scénarios d'émissions (comment les émissions anthropiques évolueront-elles dans le temps compte tenu de la politique climatique mondiale et de l'action ou de l'inaction?), à l'incertitude des modèles climatiques mondiaux et à l'incertitude liée à la manière dont les modèles climatiques mondiaux sont transposés à l'échelle locale (voir la figure 3-1 – Contribution du groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021). Il y a également beaucoup d'incertitude quant à la manière de convertir les principaux facteurs et les éléments climatiques projetés, comme la température et les précipitations, en mesures pertinentes liées aux risques d'inondation (p. ex., le débit des cours d'eau).

En résumé, bien que nous comprenions les tendances des caractéristiques des inondations au fil du temps, il existe un large éventail de conditions d'inondation possibles.

3.2 Incertitude liée à l'exposition aux inondations

Notre incertitude liée aux risques d'inondation future est d'autant plus amplifiée par notre future exposition et vulnérabilité aux inondations. Comment la population du Canada croîtra-t-elle et évoluera-t-elle? Où les nouveaux Canadiens vivront-ils et travailleront-ils? Comment prévoir l'augmentation de l'exposition aux risques d'inondation au fil du temps?

En considérant la croissance de la population comme un indicateur de l'évolution de l'exposition aux inondations au fil du temps, Statistique Canada (2022) propose une série de scénarios possibles. Les scénarios extrêmes prévoient que la population actuelle du Canada pourrait soit presque doubler d'ici 2068 ou, à l'autre bout du spectre, augmenter d'à peine cinq millions au cours de la même période (figure 3-2). En considérant l'échelle de temps des réseaux (25 à 100 ans) pour lesquels les responsables de la gestion des inondations doivent se préparer, cela signifie que l'exposition future (et les risques) peut varier grandement.

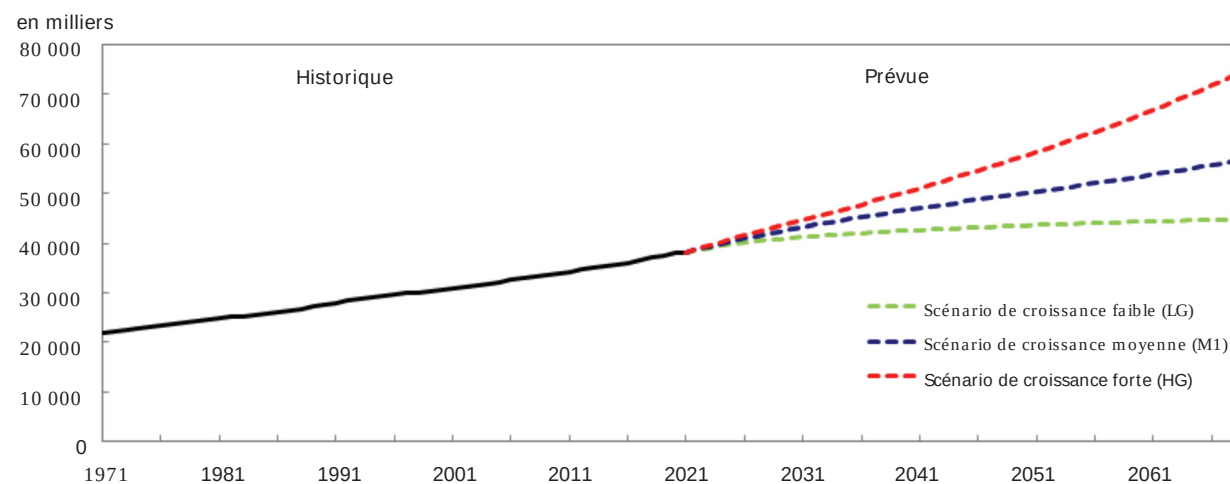
3.3 Chocs et perturbations imprévus

En plus de notre compréhension collective des tendances futures par le biais de projections, il existe des incertitudes dans l'avenir que nous ne pouvons tout simplement pas connaître; ce sont les « et si » inconnus :

- Que se passerait-il si nous étions confrontés à des changements climatiques intenses que les meilleures données scientifiques actuelles n'ont pas encore prévus?
- Que se passerait-il si nous étions confrontés à des ralentissements macroéconomiques importants? Et que cela limitait les ressources financières consacrées à la réduction des risques de catastrophes ou aux interventions en cas d'urgence? Que se passerait-il si nous ne pouvions plus financer l'entretien des infrastructures essentielles de lutte contre les inondations?
- Que se passerait-il si le public perdait confiance envers les institutions fédérales? Et que cela limitait notre capacité collective à planifier et à mettre en œuvre une gestion des inondations à l'échelle régionale?
- Que se passerait-il si le Canada était confronté à des catastrophes simultanées? Une future pandémie limiterait-elle notre capacité collective à planifier et à intervenir en cas d'inondation?

Il existe de nombreuses inconnues futures et des points de bascule potentiels qui pourraient remettre en question notre approche actuelle en matière de gestion des inondations.

Graphique 1
Population historique (1971 à 2021) et prévue (2022 à 2068) selon les scénarios de croissance faible (LG), moyenne (M1) et forte (HG), Canada



Source : Statistique Canada, Centre de démographie.

Figure 3-2 : Scénarios démographiques pour le Canada. (Statistique Canada, 2021)

4

La fragilité actuelle du statu quo en matière de gestion des inondations

4. La fragilité actuelle du statu quo en matière de gestion des inondations

Les responsables de la gestion des inondations du siècle dernier avaient un avantage sur les professionnels d'aujourd'hui : ils travaillaient avec plus de certitude. Ils travaillaient également dans un contexte politique et social différent. Par conséquent, de nombreuses structures de lutte contre les inondations sont en place dans tout le pays, et elles ont été principalement conçues pour répondre à des normes précises basées sur les risques (c'est-à-dire une inondation avec un intervalle de récurrence annuel de 100 ans).

4.1 Fiabilité et fragilité du système

Les « structures de lutte contre les inondations » décrivent les systèmes de barrages, de digues, de canaux de drainage, de pompes et d'autres structures destinées à atténuer l'interaction entre les eaux de crue et les actifs exposés dans les zones inondables. Les plus grands systèmes ne sont efficaces que lorsque tous les composants fonctionnent; « ce sont essentiellement des systèmes en série avec peu ou pas de redondance » [traduction libre] (Jongejan et Maaskant, 2015).

Les systèmes structurels sont particulièrement vulnérables aux dysfonctionnements si les conditions de conception ne sont pas respectées, car il suffit qu'une seule partie du système présente un problème pour entraîner une défaillance catastrophique de l'ensemble. Avec un avenir marqué par l'incertitude, il est de plus en plus plausible que les conditions de conception ne soient pas respectées. Il convient également de noter que la fiabilité à long terme d'un système dépend fortement de la poursuite des activités et de l'entretien (Vonk et coll., 2020), ainsi que du financement et de la volonté de le mettre en œuvre (Hegger et coll., 2014).

Il faut aussi souligner qu'en plus des problèmes liés au dépassement des conditions de conception, il y a des conséquences lorsque ces conditions strictes ne sont jamais atteintes ou respectées. Par exemple, une digue conçue et construite pour un scénario extrême qui ne se réalise jamais signifie que des ressources ont été inutilement utilisées, à un coût généralement supporté par les fonds publics (voir la figure 4-1).

En résumé, la nature rigide des systèmes structurels actuels sera mise à l'épreuve dans des conditions climatiques futures changeantes et incertaines.

4.2 Trajectoires bien établies

Les êtres humains sont généralement attachés à la manière dont les choses sont faites; il en va de même pour la manière dont les inondations sont gérées. Dans l'ensemble, malgré les signaux indiquant que le système actuel ne fonctionne pas, nous restons encore liés à nos régimes existants.

Dans le contexte de la gestion des inondations, nous disposons de trajectoires bien établies en ce qui concerne les stratégies d'atténuation privilégiées. Les stratégies structurelles (basées sur la résistance) sont la norme au Canada, et nos structures de gouvernance (c'est-à-dire la politique, le financement, la prise de décision, etc.) se sont développées autour d'elles (Morrison et coll., 2018). L'adoption d'une nouvelle trajectoire nécessitera, dans de nombreux cas, que nous sortions d'abord de la voie existante. Il ne sera pas facile de s'éloigner de cette voie dont nous dépendons (Gralepois et coll., 2016), mais ce changement doit se produire.

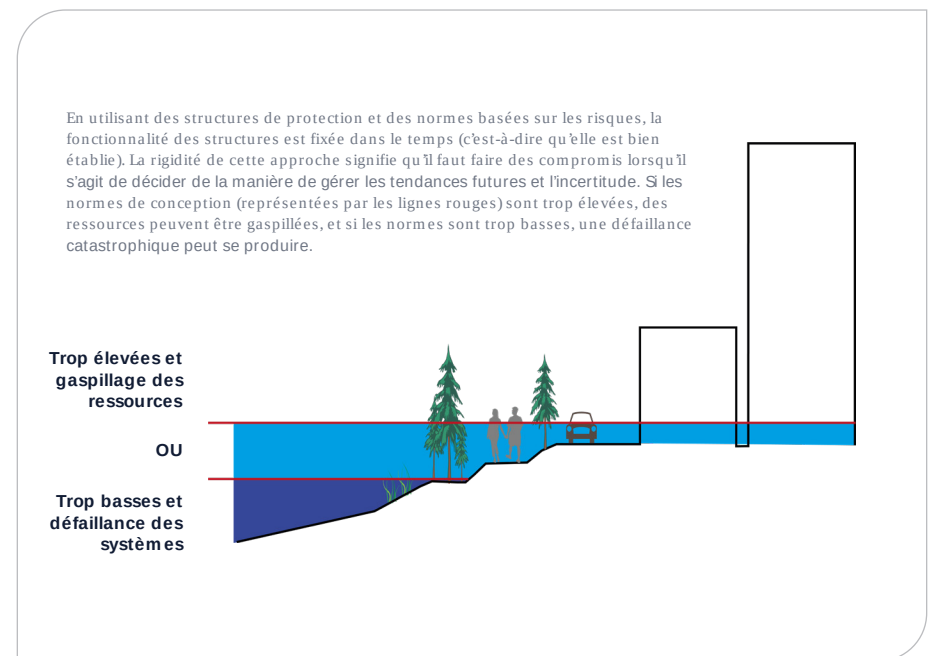


Figure 4-1: Illustration de la rigidité des structures de protection contre les inondations et des normes basées sur les risques.



**Une solution : passer d'une
fragilité bien établie à une
flexibilité adaptative**

5. Une solution : passer d'une fragilité bien établie à une flexibilité adaptative

Nos systèmes actuels de gestion des inondations sont fragiles et bien établis. La gestion adaptative des inondations consiste simplement à prendre des décisions qui ne sont pas aussi rigides, mais plutôt flexibles et adaptatives afin de mieux gérer les grandes incertitudes de l'avenir (van Buuren et coll., 2018; Sayers et coll., 2014).

Six idées pour passer à des systèmes plus adaptatifs sont présentées ici. Les deux premières concernent le fait d'accepter que l'avenir soit profondément incertain, les trois suivantes concernent le choix des stratégies d'atténuation utilisées en cas d'inondation et la dernière concerne un changement dans la tolérance à l'égard de l'innovation et de l'échec.

1 Acceptation de l'incertitude future + 2 Reconnaître les chocs futurs

Pour commencer à élaborer des plans de gestion adaptative des inondations, il est important de reconnaître que nous ne savons pas ce que l'avenir nous réserve. Des travaux devraient être entrepris pour comprendre les conditions futures les plus probables, ainsi que les marges d'incertitude qui y sont associées. Cependant, il faut reconnaître que cette profonde incertitude est mieux gérée par la mise en œuvre de mesures d'atténuation efficaces pour plusieurs scénarios futurs.

Les mesures d'atténuation proposées doivent être mises à l'essai dans le cadre de plusieurs projections futures, ce qui constitue un élément clé de tout processus de planification et de prise de décision. Il est également recommandé de soumettre les mesures d'atténuation à des simulations dans le cadre d'un certain nombre de scénarios de type « et si ».

3 Élargir la boîte à outils

Il existe trois leviers pour augmenter ou réduire le risque. La réduction du danger, de l'exposition et de la vulnérabilité peut jouer un rôle dans la réduction globale des risques. Cette approche plus complexe, mais importante, de l'atténuation des inondations signifie que beaucoup plus d'outils sont disponibles pour soutenir la réduction des risques.

Au cours des cent dernières années, de nombreux gouvernements occidentaux se sont efforcés d'empêcher les eaux d'interagir avec les actifs en construisant de grands ouvrages de génie civil. Cela limite effectivement les options de réduction des risques à l'un des trois leviers possibles (c'est-à-dire le danger), laissant inutilisées d'autres options, dont certaines sont décrites ici.

5.3.1 La valeur des approches de réduction des risques fondées sur l'utilisation des terres

L'utilisation des terres est un facteur clé du risque d'inondation. Le risque n'existe que lorsque des éléments vulnérables sont exposés à des aléas d'inondation. Un plan d'utilisation des terres (à l'échelle locale, régionale et plus large) est le principal instrument qui crée ou, au contraire, réduit l'exposition et, par conséquent, le risque d'inondation.

Les approches fondées sur l'utilisation des terres pour réduire les risques d'inondation sont toujours efficaces. L'élimination ou la réduction de la vulnérabilité des éléments exposés

dans les plaines inondables se traduit immédiatement par une réduction des risques et se traduira par une réduction des dommages au fil du temps. Les approches basées sur l'utilisation des terres présentent également l'avantage d'être généralement solides dans le cadre de multiples scénarios d'inondation et de conditions futures.

En outre, la planification de l'utilisation des terres en vue de réduire les risques d'inondation s'accompagne généralement d'avantages connexes, alors que les infrastructures de lutte contre les inondations ont souvent un objectif unique. Par exemple, l'utilisation des terres résilientes aux inondations (comme les espaces ouverts ou les espaces récréatifs) apporte une valeur ajoutée aux communautés.

L'utilisation d'un plan d'utilisation des terres comme principal outil de gestion des inondations permettra de réduire les risques, de favoriser le développement de communautés prospères et résilientes et de mieux gérer les incertitudes futures.

5.3.2 La valeur des solutions fondées sur la nature

Les solutions fondées sur la nature décrivent l'ensemble des « mesures visant à protéger, à gérer de façon durable et à restaurer les écosystèmes naturels et modifiés » [traduction libre] (UICN et PNUE, 2021). Ces types de mesures d'atténuation des inondations sont particulièrement utiles dans le contexte de l'incertitude future. Ils ont la capacité d'absorber en douceur et d'atténuer les effets de l'ensemble des inondations. La défaillance de ces systèmes robustes peut survenir en toute sécurité ou ne pas survenir du tout lorsque les seuils de conception sont dépassés, alors que la défaillance des systèmes structurels peut survenir de manière catastrophique dans les mêmes conditions.

4 Options réversibles et flexibles

Comme nous ne savons pas ce que l'avenir nous réserve, il est sage de procéder de manière à conserver un éventail d'options à notre disposition, plutôt que de limiter les possibilités. Par exemple, si les infrastructures concrètes peuvent être appropriées dans certains cas, elles peuvent nous restreindre à une trajectoire qui peut entraîner un risque plus important au fil du temps (p. ex., lorsque l'aménagement se poursuit derrière une digue) et dans laquelle les ressources ne peuvent pas être réorientées si nous devons changer de cap.

Il est important de concevoir les projets d'atténuation des catastrophes en tenant compte de l'adaptabilité et en évitant la fragilité. Les conceptions adaptables sont celles qui peuvent être facilement ajustées ou modifiées au fil du temps en fonction de l'évolution des risques climatiques (p. ex., une digue conçue et mise en place de manière à pouvoir être remontée à l'avenir).

5.4.1 Planifier la flexibilité des trajectoires

Une voie d'adaptation décrit une trajectoire de planification dans laquelle des mesures individuelles ou regroupées sont prises au fil du temps (Werners et coll., 2021). Les trajectoires peuvent être fixes ou flexibles. Une fois appliquée, une décision par rapport à la trajectoire bien établie sera pratiquement impossible à modifier à l'avenir. Par exemple, de nombreuses mesures d'intervention structurelles en cas de catastrophe peuvent nous obliger à poursuivre la trajectoire. Si une digue est construite pour arrêter les inondations côtières et qu'un aménagement est effectué du côté de la digue, il sera pratiquement impossible de faire autrement que de continuer à construire la digue en fonction de l'élévation du niveau de la mer. Une trajectoire flexible à partir d'un point de décision permet de passer relativement facilement d'une trajectoire à l'autre. En reprenant le même exemple que ci-dessus, si une stratégie d'évitement est utilisée et que l'aménagement n'est pas autorisé dans une zone à haut risque, il serait relativement facile à l'avenir de passer à une stratégie de lutte structurelle si celle-ci devenait préférable.

Compte tenu de l'incertitude climatique et des conditions générales futures (p. ex., l'utilisation des terres, l'aménagement, l'économie, la population), des trajectoires flexibles sont généralement privilégiées, car elles permettent de prendre en compte de nombreux futurs différents.

5 Options sans regret

La boîte à outils en matière d'atténuation des inondations est vaste, en particulier lorsque les trois leviers du risque sont utilisés. Certains, voire beaucoup, de ces outils peuvent être considérés comme « sans regret ». Il s'agit d'options qui permettront de réduire les risques ou d'accroître la résilience indépendamment des décisions et des conditions d'inondation futures. Par exemple, l'éducation du public et l'amélioration de la préparation aux situations d'urgence sont généralement considérées comme des mesures sans regret.

Les options qui présentent des avantages connexes sont une autre forme de mesure d'atténuation sans regret dans le contexte des inondations. Par exemple, la restauration d'un parc riverain améliorera la fonction écologique et créera des possibilités de loisirs. Même si les avantages de l'atténuation des inondations d'un tel parc ne se concrétisent jamais, le parc est un atout pour la communauté.

6 Oser et progresser

Les stratégies d'adaptation progressives aux changements climatiques ne suffiront pas dans certains cas, et des changements de trajectoire systémiques à grande échelle seront nécessaires (Fedele et coll., 2019). Cela exigera une certaine dose de courage et le fait d'accepter que nous devrions pouvoir mettre à l'essai de nouvelles idées et solutions, au risque d'échouer (voir l'encadré sur les pratiques de pointe). Il faudra aussi du temps pour y arriver, car les responsables de la gestion des inondations devront s'accoutumer à l'incertitude et à l'éventuelle possibilité d'échec, et les systèmes de gouvernance devront être adaptés afin de permettre davantage d'innovation (et d'échecs potentiels). Cependant, les changements transformationnels réussis engendreront des retombées énormes.

Innover grâce à des pratiques de pointe

Une **pratique exemplaire** est un terme couramment utilisé dans les politiques pour décrire une méthode ou une activité qui est largement considérée comme privilégiée parce qu'elle est la plus efficace ou la plus efficiente. Une **pratique de pointe** est une pratique qui est actuellement nouvelle et qui présente des signes précoces de réussite. Une pratique de pointe, si elle est privilégiée au fil du temps, deviendra une pratique exemplaire, mais elle peut aussi se révéler moins efficace ou moins efficiente et être finalement rejetée. L'inclusion de pratiques de pointe permet une plus grande flexibilité dans les approches potentielles afin de répondre à l'incertitude associée aux changements climatiques et aux risques de catastrophes. En somme, une pratique de pointe permet aussi de prendre en compte un éventuel échec, mais avec la contrepartie qu'elle pourrait s'avérer la méthode la plus efficace pour gérer un nouveau paradigme.



Conclusion



6. Conclusion

Les plaines inondables du Canada sont les artères commerciales, sociales et écologiques du pays. Les actifs et les communautés qui se trouvent sur ces plaines inondables sont susceptibles de subir des dommages et des perturbations en cas d'inondation. Nous utilisons les plaines inondables à ces fins en partie pour des raisons historiques (accès à l'eau douce, transport, terres planes et fertiles). Cependant, malgré le risque d'inondation, nous avons continué à aménager et à enraciner nos communautés dans ces zones parce qu'elles constituent des lieux attrayants pour y vivre, travailler et se divertir.

Si nous continuons à utiliser les plaines inondables à ces fins, il nous faut reconnaître la possibilité que des inondations se produisent et planifier en conséquence. Certaines des approches sur lesquelles nous nous appuyons traditionnellement, telles que les digues et les mesures de protection et d'intervention d'urgence, présentent des limites, en particulier face aux changements climatiques. Nous sommes aujourd'hui dans une situation critique, dans laquelle il nous faut appliquer des solutions adaptatives et flexibles de gestion des inondations si nous souhaitons éviter des échecs catastrophiques et une explosion des coûts à l'avenir.

Construire les bases d'une gestion adaptative des inondations dans le cadre du Programme d'identification et de cartographie des aléas d'inondation

Les éléments d'une approche de gestion adaptative des inondations nécessiteront de modifier les approches du statu quo en matière de cartographie des inondations :

- 1. Cartographier un éventail d'événements :** Il est important de noter qu'une approche de gestion adaptative exige que les activités d'atténuation soient mises à l'essai sur un large éventail d'événements d'inondation (des plus petits et fréquents aux plus grands et rares) et de conditions futures. Cela nécessitera l'élaboration de cartes d'inondation pour un éventail tout aussi large d'événements.
- 2. Reconnaître et communiquer l'incertitude dans les cartes :** L'incertitude liée à l'élaboration des cartes doit être communiquée sur les cartes elles-mêmes, en particulier pour les publics inexpérimentés. Cela implique d'utiliser un langage simple et des titres généraux (p. ex., un événement futur rare par rapport à un événement actuel fréquent). Cela peut également signifier de ne pas présenter les zones à risque d'inondation comme des polygones binaires (c'est-à-dire qu'un côté de la ligne se trouve dans la zone à risque d'inondation et l'autre non), mais plutôt d'utiliser des ombres et d'autres outils cartographiques pour mieux représenter l'incertitude.
- 3. Utiliser les ressources de modélisation et de cartographie à bon escient :** Nous disposons de ressources limitées pour élaborer des modèles hydrologiques et hydrauliques et les cartes associées. Compte tenu de la grande incertitude associée à ces modèles et aux données qui les alimentent pour anticiper les événements futurs, il nous faut choisir avec soin les domaines dans lesquels nous devons concentrer nos efforts. L'amélioration et l'adaptation des modèles selon la meilleure information disponible peuvent ne pas constituer la meilleure utilisation des ressources compte tenu de l'incertitude inhérente. Au lieu de cela, des approches simples d'augmentation progressive (c'est-à-dire la création de cartes pour un éventail de débits à des intervalles constants) peuvent constituer une utilisation plus appropriée des ressources.

Références

- ARUP. (2015). City Resilience Framework. The Rockefeller Foundation, ARUP. Récupéré de : <https://assets.rockefellerfoundation.org/app/uploads/20140410162455/City-Resilience-Framework-2015.pdf>
- Breen, M. J., Kebede, A. S. et König, C. S. (2022). The Safe Development Paradox in Flood Risk Management : A Critical Review. *Sustainability* (Suisse), 14(24), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su142416955>
- Bristow, D. N. et Hay, A. H. (2016). Graph model for probabilistic resilience and recovery planning of multi-infrastructure systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(3), 4016039.
- Bruce, J. P. (1976). The National Flood Damage Reduction Program. *Canadian Water Resources Journal*, 1(1), 5-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.4296/cwrj0101005>
- Bush, E. et Lemmen, D. S. (2019). Canada's Changing Climate Report. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario.
- Van Buuren, A., Lawrence, J., Potter, K. et Warner, J. F. (2018). Introducing Adaptive Flood Risk Management in England, New Zealand, and the Netherlands: The Impact of Administrative Traditions. *Review of Policy Research*, 35(6), 907-929. <https://doi.org/10.1111/ropr.12300>
- Contribution du groupe de travail Iau sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Environnement et Changement climatique Canada. (2021). Changement d'affectation des terres : Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement, 13. Récupéré de : https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/land-use-change/2021/Land-use-change_FR.pdf
- Fedele, G., Donatti, C. I., Harvey, C. A., Hannah, L. et Hole, D. G. (2019). Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science and Policy*, 101(August), 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.001>
- Gaur, A., Gaur, A. et Simonovic, S. P. (2018). Modelling of future flood risk across Canada due to climate change. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 121, 149-159. <https://doi.org/10.2495/RISK180131>
- Gralepois, M., Larrue, C., Wiering, M., Crabbé, A., Tapsell, S., Mees, H., et coll. (2016). Is flood defense changing in nature? Shifts in the flood defense strategy in six European countries. *Ecology and Society*, 21(4). <https://doi.org/10.5751/ES-08907-210437>
- Hegger, D. L. T., Driessen, P. P. J., Dieperink, C., Wiering, M., Raadgever, G. T. T. et van Rijswijk, H. F. M. W. (2014). Assessing stability and dynamics in flood risk governance: An empirically illustrated research approach. *Water Resources Management*, 28(12), 4127-4142. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0732-x>
- UICN et PNUE. (2021). Nature-based solutions for climate change mitigation. Programme des Nations Unies pour l'environnement.
- James, T. S., Robin, C., Henton, J. A. et M. Craymer. (2021). Relative sea-level projections for Canada based on the IPCC Fifth Assessment Report and the NAD83v70VG national crustal velocity model. Récupéré de : <https://doi.org/10.4095/327878>
- Jongejan, R. B. et Maaskant, B. (2015). Quantifying flood risks in the Netherlands. *Risk Analysis*, 35(2), 252-264. <https://doi.org/10.1111/risa.12285>
- Li, X., Marchand, M. et Li, W. (2012). Grow in Concert with Nature.
- Li, Y., Deng, J., Zang, C., Kong, M. et Zhao, J. (2022). Spatial and temporal evolution characteristics of water resources in the Hanjiang River Basin of China over 50 years under a changing environment. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.968693>
- Lyle, T. S. (2001). Non-structural flood management solutions for the lower Fraser Valley, British Columbia. *ProQuest Dissertations and Theses*, (285), 103. Récupéré de : http://sfx.scholarsportal.info/guelph/docview/304762395?accountid=11233%255Cnhttp://sfx.scholarsportal.info/guelph?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:dissertation&genre=dissertations+%2526+theses&sid=ProQ:ProQuest+Dissertations+%2526+The
- McClearn, M. (17 novembre 2022). Canada's disaster aid system is overwhelmed, leaving victims to rebuild on their own. *Globe and Mail*. Récupéré de : <https://www.theglobeandmail.com/canada/article-natural-disaster-relief-payments/>
- Morrison, A., Westbrook, C. J. et Noble, B. F. (2018). A review of the flood risk management governance and resilience literature. *Journal of Flood Risk Management*, 11(3), 291-304. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12315>
- Murdock, H., de Bruijn, K. et Gersonius, B. (2018). Assessment of Critical Infrastructure Resilience to Flooding Using a Response Curve Approach. *Sustainability*, 10(10), 3470.
- Sécurité publique Canada. (2022a). S'adapter à la hausse des risques d'inondation : Une analyse des solutions d'assurance pour le Canada. Un rapport du Groupe de travail sur l'assurance contre les inondations et d'aide à la relocalisation du Canada. Récupéré de : <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/dptng-rsng-fl-d-rsk-2022/dptng-rsng-fl-d-rsk-2022-fr.pdf>
- Sécurité publique Canada. (2022b). Inondations.
- Ross, E. R. et Randhir, T. O. (2022). Effects of climate and land use changes on water quantity and quality of coastal watersheds of Narragansett Bay. *Science of the Total Environment*, 807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151082>
- Sayers, P., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Yuanyuan, L., Fuxin, S., Yiwei, C., et al. (2014). Strategic flood management: ten 'golden rules' to guide a sound approach. *International Journal of River Basin Management*, (June), 1-15. <https://doi.org/10.1080/15715124.2014.902378>
- Statistique Canada. (2022). Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires, 2021 à 2068, 2022. Récupéré de : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220822/dq220822b-fra.htm>
- Sugden, A. M. (2016). Flood control initiates Chinese civilization. *Science*, 353(6299), 553. <https://doi.org/10.1126/science.353.6299.553-c>
- NURRC. (2015). Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (RRC) 2015-2030. Stratégie internationale pour la prévention des catastrophes. <https://doi.org/A/CONF.224/CRP.1>
- Vonk, B., Klerk, W. J., Fröhle, P., Gersonius, B., Heijer, F. Den, Jordan, P., et coll. (2020). Adaptive asset management for flood protection: The FAIR framework in action. *Infrastructures*, 5(12), 1-16. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5120109>
- Werners, S. E., Wise, R. M., Butler, J. R. A., Totin, E. et Vincent, K. (2021). Adaptation pathways: A review of approaches and a learning framework. *Environmental Science and Policy*, 116(Janvier), 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.003>
- White, G. F. (1942). *Human Adjustment to Floods: A geographical approach to the flood problem in the United States*. Université de Chicago.
- Organisation météorologique mondiale. (2023). C'est officiel, les huit dernières années sont bien les plus chaudes jamais enregistrées dans le monde. Récupéré le 31 mars 2023 de : <https://public.wmo.int/fr/medias/communiqu%C3%A9s-de-presse/c%E2%80%99est-officiel-les-huit-derni%C3%A8res-ann%C3%A9es-sont-bien-les-plus-chaudes>
- Zevenbergen, C., Gersonius, B. et Radhakrishnan, M. (2020). Flood resilience. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378.

Gestion adaptative des inondations

De la fragilité à la flexibilité

Rapport final

31 juillet 2023

ebbwater

Ebbwater Consulting Inc.

510 – 119, rue West Pender

Vancouver, C.-B. V6B 1S5

www.ebbwater.ca

Permis d'EGBC 100929

Numéro du projet : P260

This project was undertaken with the financial support of:
Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada