

GUIDE SUR LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES :

UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE POUR GUIDER LA
RECHERCHE ET LA PRISE DE DÉCISION EN MATIÈRE D'ADAPTATION



CONSORTIUM ON REGIONAL CLIMATOLOGY
AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

www.ouranos.ca

CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Citation suggérée : Charron I. (2014). Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation. Ouranos, 86 p.

ISBN (Impression) : 978-2-923292-13-7

ISBN (PDF) : 978-2-923292-15-1

Des exemplaires de ce guide peuvent être téléchargés sur le site <http://www.ouranos.ca/>

Septembre 2014

Avec le soutien de Ressources naturelles Canada par l'entremise de la Plateforme d'adaptation



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada



Ouranos

550 Sherbrooke ouest, 19^e étage,
Montréal, Québec, H3A1B9, Canada.

Tél. : 514-282-6464

Télécopieur. : 514-282-7131

www.ouranos.ca

AVANT-PROPOS

Le Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation est une ressource pour la recherche et la prise de décision associées à l'adaptation au changement climatique.

Ce projet a été financé dans le cadre du programme de la Plateforme d'adaptation dirigé par Ressources naturelles Canada. Le groupe de travail sur les outils et les initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) de la Plateforme a déterminé que ce guide est un besoin important pour la prise de décision liée à l'adaptation, qui s'appuie sur les résultats du Programme d'outils et d'ICAR (2009-12). Le programme d'Outils et d'ICAR était une initiative à coûts partagés de 35 millions de dollars qui visait à soutenir l'action concertée dans le développement des ressources et des outils pour aider les intervenants et les décideurs locaux à réduire les risques et à maximiser les opportunités découlant des changements climatiques.

Les utilisateurs de ce guide sont invités à envoyer leurs questions et commentaires afin d'améliorer cette ressource. Ces renseignements seront utilisés dans les versions futures. Les commentaires peuvent être transmis à Isabelle Charron (charron.isabelle@ouranos.ca).

RÉSUMÉ

Les changements climatiques sont indubitables. Partout dans le monde, il y a de nombreux indices que des changements ont déjà eu lieu. Cette réalité force les décideurs à évaluer les conséquences, les vulnérabilités, les opportunités et les risques potentiels que comporte le changement climatique. Le développement d'actions et de plans d'adaptation pour s'ajuster à cette nouvelle réalité exige des décideurs qu'ils améliorent leur compréhension de l'information climatique offerte. Les progrès rapides en climatologie de même que l'évolution de notre compréhension des opportunités et des risques potentiels découlant des conséquences du changement climatique vont demander des décideurs qu'ils pratiquent une gestion plus proactive et itérative.

Ce guide constitue un outil pour aider les décideurs à se familiariser avec l'information climatique future. Il est destiné à tous les intervenants impliqués dans l'adaptation au changement climatique, allant des premières étapes de la sensibilisation au changement climatique jusqu'à la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Ce guide comprend trois sections principales. La première section classe l'information climatique selon son utilisation et son degré de complexité. La deuxième section répertorie les différentes manières de présenter l'information climatique aux décideurs. Enfin, la troisième section présente certains concepts essentiels en climatologie qui contribuent à une bonne compréhension de l'information climatique en général.

Ce document n'est pas suffisamment détaillé pour informer les utilisateurs sur la manière de préparer différents types d'information climatique; il ne constitue pas non plus une analyse critique de la manière dont l'information est produite. Ce document souligne plutôt l'importance de collaborer avec les fournisseurs de services climatiques pour obtenir de l'information climatique. Ce guide permet aux utilisateurs de s'impliquer plus facilement auprès des fournisseurs de services climatiques et de se montrer plus critiques par rapport à l'information qui leur est fournie. Il importe de reconnaître qu'à l'heure actuelle, le nombre de fournisseurs de services climatiques est faible par rapport à la demande en information climatique.

Les décideurs qui utilisent ce guide deviendront plus à l'aise avec les produits d'information climatique et, ainsi, avec l'évaluation de l'information climatique par rapport à leurs besoins. Les messages essentiels qui ressortent de ce guide comprennent :

- ~ L'information climatique à différents degrés de complexité peut être utile, selon le type de décision qui doit être prise. De l'information plus détaillée n'est pas toujours nécessaire à la prise de décision éclairée.
- ~ L'information climatique peut être présentée dans des formats qui correspondent au niveau d'expertise des décideurs.
- ~ Les décisions doivent être fondées sur un éventail de futurs possibles; le *meilleur* scénario climatique n'existe pas.
- ~ Enfin, il est important de comprendre les limites de l'information climatique utilisée.

REMERCIEMENTS

Un grand nombre de collaborateurs ont fourni de précieux commentaires sur une version antérieure de ce guide :

- ~ Diane Chaumont, Caroline Larrivée, Travis Logan, Dominique Paquin, Hélène Côté, Marco Braun, David Huard, Patrick Grenier, and Ramón deElía (Ouranos)
- ~ René Pigeon, Don Lemmen, Mary-Ann Wilson, and Pamela Kertland (Natural Resources Canada)
- ~ Al Douglas (Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources)
- ~ Trevor Murdock (Pacific Climate Impacts Consortium)
- ~ Linda Mortsch, Greg Flato, Jamie Smith, Grace Koshida, Marjorie Shepherd, Stewart Cohen and Xuebin Zhang (Environnement Canada)
- ~ Dave Spittlehouse (Gouvernement de la Colombie-Britannique)
- ~ Eric Larrivée (Ministère du Développement durable, Environnement, Faune et Parcs du Québec)
- ~ Nathalie Martel (Bureau des changements climatiques et de la santé, Québec)
- ~ Kate Germain (Chaire de tourisme Transat – Réseau de veille en tourisme)

Nous remercions Trevor Murdock et le Pacific Climate Impacts Consortium pour avoir rédigé les résumés climatiques (présentés en tant qu'étude de cas dans le présent guide) et organisé un webinaire visant à sonder la compréhension et l'utilisation de l'information climatique par des utilisateurs de différents secteurs économiques.

Nous remercions Chantal Pelletier de Pétal Communications pour la conception et la mise en forme du guide, ainsi que Traduction MOT Translation pour la révision et la traduction en français. Nous remercions particulièrement Travis Logan (Ouranos) pour la production d'un grand nombre de cartes et de figures qui apparaissent dans le guide.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.	1
1.1. Le besoin d'un tel guide	1
1.2. Objectif et structure	2
1.3. Public cible.	3
1.4. Comment utiliser ce guide.	3
2. CLASSIFICATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE	5
2.1. Définition de l'adaptation et du décideur	5
2.2. Définition de l'information climatique	5
2.3. Identification des besoins des utilisateurs	6
2.3.1. Catégories d'information climatique	7
2.3.2. Produit et format d'information climatique.	7
2.4. Vue d'ensemble des trois catégories de besoins en matière d'information climatique	9
2.5. Prise de décision au moyen de l'information climatique et son incertitude associée	12
3. FORMATS D'INFORMATION CLIMATIQUE	13
3.1. Information de base	15
3.1.1. Tableau synthèse	16
3.1.2. Normales climatiques.	18
3.1.3. Tendances historiques	20
3.1.4. Changements globaux	22
3.1.5. Carte des changements futurs (deltas)	24
3.1.6. Études de cas utilisant de l'information climatique de base.	27
3.2. Information intermédiaire	29
3.2.1. Analogue spatial	30
3.2.2. Diagramme de dispersion	32
3.2.3. Carte des valeurs projetées	34
3.2.4. Évolution des valeurs futures	36
3.2.5. Fonction de distribution cumulative	38
3.2.6. Études de cas utilisant de l'information climatique intermédiaire	41
3.3. Information détaillée	43
3.3.1. Format particulier « sur mesure »	44
3.3.2. Séries temporelles	46
3.3.2.1. Secteur à l'étude : Hydrologie	46
3.3.2.2. Secteur à l'étude : Production de sirop d'érable	48
3.3.3. Analyse des extrêmes (variable complexe)	50
3.3.3.1. Exemple 1 - Courbes IDF	50
3.3.3.2. Exemple 2 - Analyse des extrêmes de température (dans le passé récent ou dans les projections)	52
3.3.4. Analyse de variables à confiance limitée – Choix entre des scénarios climatiques ou des scénarios synthétiques	54

3.3.4.1	Scénarios synthétiques	55
3.3.4.2	Scénario de changement climatique – Simulation de tempêtes pour une étude sur l'érosion côtière . .	56
3.3.5	Études de cas utilisant de l'information climatique détaillée	59
4.	CONCEPTS FONDAMENTAUX EN MODÉLISATION CLIMATIQUE	61
4.1	Modèle, simulation et projection climatique, scénario d'émissions et scénario de changement climatique . .	61
4.2	Scénarios d'émissions de gaz à effet de serre : scénarios d'émissions relatives à la concentration (SRES) et scénarios de forçage radiatif (RCP)	63
4.2.1	Scénarios SRES	63
4.2.2	Trajectoires de concentration représentatives (RCP)	63
4.2.3	Quelques mots sur les modèles climatiques CMIP3 et CMIP5	66
4.3	Caractéristiques du climat et de la variabilité naturelle.	67
4.3.1	Quelques mots sur la fenêtre de 30 ans utilisée pour les normales climatiques	68
4.4	Utilisation d'un ensemble de simulations	68
4.4.1	Combien de simulations doivent être utilisées ?	69
4.5	Partition des sources d'incertitude	70
4.6	Techniques de mise à l'échelle	72
4.6.1	Quand des techniques de mise à l'échelle devraient-elles être utilisées ?	72
4.6.2	Mise à l'échelle dynamique ou statistique ?	73
4.7	Techniques de post-traitement	74
4.7.1	Méthodes de delta / mise à l'échelle	74
4.7.2	Correction de biais	74
5.	MESSAGES IMPORTANTS POUR L'INTERPRÉTATION ET L'UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE . .	75
	LISTE D'ACRONYMES	76
	GLOSSAIRE	77
	EXEMPLES DE SOURCES SUPPLÉMENTAIRES D'INFORMATION	82
	RÉFÉRENCES	83



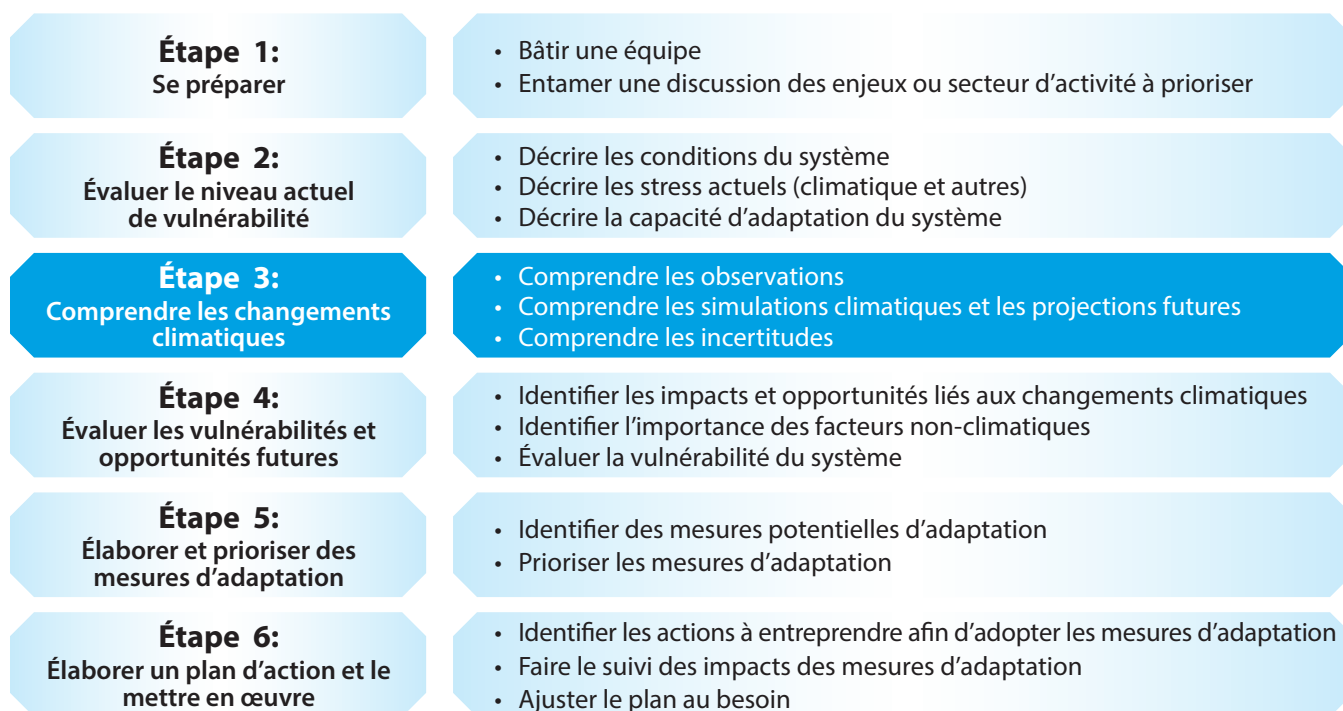
1. INTRODUCTION

1.1 Le besoin d'un tel guide

Partout dans le monde, le changement climatique devient de plus en plus une préoccupation importante et pour pouvoir s'adapter aux conséquences qui en découlent, les changements attendus doivent tout d'abord être compris. On peut affirmer que la climatologie a maintenant atteint un certain niveau de maturité qui la rend plus précieuse et utile pour les décideurs. Cependant, au même moment, les conséquences possibles du changement climatique soulèvent un nombre croissant de problèmes que les décideurs doivent considérer. Ainsi, la prise de décision fondée sur l'information climatique est loin d'être simple. Identifier et obtenir l'information pertinente peut être en soi un défi, mais en même temps l'une des nombreuses étapes requises pour créer un cadre d'adaptation (figure 1). Ces étapes, qui découlent principalement de directives

émises par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) au début des années 1990 au travers d'études d'impact et d'adaptation¹⁻³, ont été présentées dans un nombre croissant de publications (p. ex. ⁴⁻⁸). Cependant, la plupart des guides sur les impacts et l'adaptation ne donnent généralement que des indications très limitées sur les différents types d'information climatique offerts. Dans ce contexte, ce guide vise à fournir un outil qui aidera les décideurs à mieux comprendre plusieurs types d'information climatique et à mieux déterminer comment cette information peut être utilisée à différentes étapes du processus d'adaptation. Ce transfert de connaissances et les échanges entre les fournisseurs de services climatiques et les utilisateurs sont de plus en plus considérés comme une étape importante dans le processus de prise de décision⁹.

Figure 1. Étapes d'un cadre d'adaptation au changement climatique. L'information présentée dans ce document est particulièrement pertinente pour l'achèvement de la troisième étape, qui est un tremplin essentiel pour déterminer les conséquences et les opportunités découlant du changement climatique.



Veuillez noter que ces étapes sont itératives. Les utilisateurs auront peut-être besoin de répéter certaines des étapes plusieurs fois.

L'offre d'information climatique et sa diversité ont augmenté au cours des années. En effet, les tendances climatiques historiques et les scénarios climatiques futurs sont devenus des renseignements importants pour une meilleure prise de décision. Cependant, l'information climatique générique n'est généralement pas utilisée à son plein potentiel. Quelques raisons expliquent ce fait. D'abord, les utilisateurs potentiels de l'information climatique sont nombreux et varient quant à leurs connaissances, objectifs, capacités, autorités et responsabilités¹⁰. Ainsi, il n'est pas toujours facile de déterminer quelle information climatique doit être utilisée, et de quelle manière. Ensuite, leurs besoins peuvent exiger de l'information plus précise, qui doit être personnalisée pour remplir leurs exigences. En effet, des outils de soutien « génériques » pour la prise de décision ne sont pas aisés à développer, car les décisions liées au climat sont prises à plusieurs niveaux et par des intervenants diversifiés qui ont des capacités différentes à gérer l'information^{11,12}. Enfin, l'information climatique doit être communiquée et transmise de manière efficace, et le format optimal utilisé à cet effet peut varier d'un utilisateur à l'autre.

Ce guide souligne le fait que l'information climatique peut être *personnalisée* pour remplir les besoins d'un éventail d'utilisateurs. Le but consiste à combler le fossé entre ce qui est considéré comme de l'information « appliquée » ou « centrée sur la prise de décision » (p. ex. une variable climatique portant sur une région et une période très précises) et la connaissance plus « basique » ou « centrée sur la science » (p. ex. une variable climatique ou une période qui a priori ne semble pas s'appliquer à un besoin sociétal clair)¹¹. Au fil des interactions accrues entre les scientifiques et les décideurs, la dichotomie entre ces deux types d'information diminue; et ultimement, les utilisateurs doivent améliorer leur compréhension des différents types d'information climatique et de leur pertinence, alors que les fournisseurs de services climatiques doivent accroître leur compréhension de la diversité des utilisateurs d'information climatique. En d'autres termes, les utilisateurs doivent prendre conscience qu'ils n'ont pas toujours besoin d'information précise « centrée sur la prise de décision », alors que les fournisseurs de services climatiques doivent être disposés à transformer

leur information « centrée sur la science » dans un format que les utilisateurs peuvent plus facilement intégrer à leurs études. L'objectif n'est pas de transformer les décideurs en experts en climatologie, mais plutôt d'accroître leur connaissance générale sur l'information climatique. Plus précisément, le guide leur permettra de déterminer quels sont les bons outils pour la bonne tâche.

1.2 Objectif et structure

L'objectif général de ce guide est d'améliorer la capacité des décideurs quant à leur utilisation de l'information climatique dans un cadre d'adaptation. Plus précisément, le guide vise d'abord à aider les décideurs à mieux déterminer leurs besoins en information climatique, et à présenter de même qu'à expliquer une vaste gamme de formats d'information climatique qui peuvent être obtenus auprès des fournisseurs de services climatiques.

Le guide est structuré de la manière suivante :

La **section 2** présente un cadre pour classifier l'information climatique en trois catégories, selon son usage et sa complexité. Cette section aide les utilisateurs à formuler leurs besoins en information climatique.

La **section 3** fournit un catalogue des formats d'information climatique qui peuvent être associés à l'une des trois catégories. Cette section décrit les différentes manières dont l'information climatique peut être fournie à différents utilisateurs, selon leur niveau d'expertise et leurs préférences.

La **section 4** fournit de l'information à valeur ajoutée pour aider les utilisateurs à mieux comprendre certains concepts essentiels à la modélisation climatique.

1.3 Public cible

Ce guide est destiné à un vaste public et est rédigé en termes généraux, afin d'aider les décideurs de tous les secteurs d'activités aux prises avec les tâches d'évaluer les conséquences du changement climatique ou de mettre en œuvre des mesures d'adaptation en réponse à ces impacts. Plus précisément, le guide peut être considéré comme une partie du processus décrit à la figure 1, et cible ainsi un public déjà impliqué dans l'adaptation au changement climatique. L'information présentée sera particulièrement utile pour les utilisateurs qui ont une expérience limitée avec l'information climatique et les services climatiques. Une meilleure compréhension de l'information climatique offerte augmentera leur capacité à mieux utiliser l'information déjà offerte (p. ex. sur des sites Web) et à communiquer leurs besoins particuliers aux fournisseurs de services climatiques.

Les fournisseurs de services climatiques tireront aussi profit de l'information présentée dans ce guide. Elle les aidera à mieux classer les demandes en termes d'utilisation ou d'objectif de l'information climatique, et à développer une compréhension accrue des formats climatiques qui peuvent être personnalisés pour différents utilisateurs.

1.4 Comment utiliser ce guide

Ce guide est destiné à un vaste ensemble d'utilisateurs et contient donc de l'information à des degrés de complexité variés. Ainsi, certains utilisateurs pourraient ne pas avoir à lire ce document d'une couverture à l'autre, étant donné leur niveau actuel d'expertise. Les utilisateurs peuvent donc vouloir concentrer leurs efforts sur les sections qui s'avèrent les plus pertinentes pour eux.

Tout au long de ce document, le lecteur doit garder quelques points importants à l'esprit :

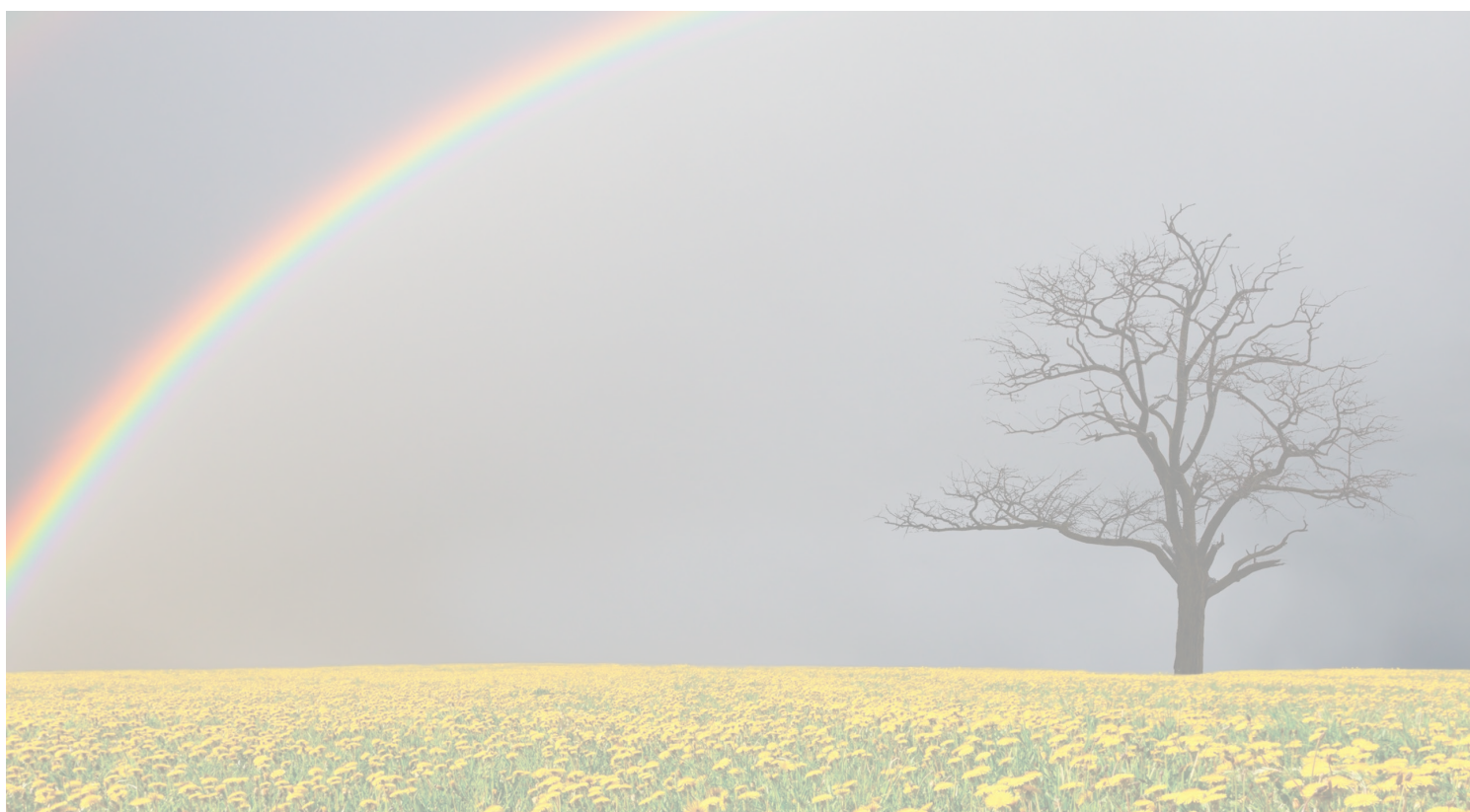
→ Une partie de la difficulté d'employer l'information climatique est de comprendre la terminologie utilisée par les climatologues. Le glossaire peut donc être un outil précieux. De plus, les utilisateurs peuvent tirer profit de lire la section 4, qui présente plusieurs concepts essentiels en

modélisation climatique, *avant* de poursuivre la lecture du reste du guide. Notez également que les concepts présentés dans cette section sont **mis en évidence en caractères gras** tout au long du guide.

→ Le niveau de complexité de l'information climatique augmente assez rapidement au fil des figures et graphiques présentés dans la section 3. Il peut par conséquent s'avérer utile d'évaluer ses besoins à la section 2 afin de se concentrer sur la catégorie d'information climatique qui y est associé dans la troisième section.

Remarque

Le guide se veut un outil pour accroître la compréhension générale de l'information climatique. Toutefois, il n'est pas une liste de fournisseurs de services climatiques. Le besoin pour de tels fournisseurs est de toute évidence en hausse, à cause de la demande croissante des décideurs pour de l'information climatique. Cependant, à l'heure actuelle, il existe très peu de fournisseurs pour répondre à la demande. De plus, même si le guide aborde les différentes décisions qui doivent être prises au moment de la production d'information climatique (p. ex. au sujet des modèles climatiques utilisés, du nombre de simulations choisies, de l'utilisation des techniques de post-traitement, etc.), il ne prétend pas être une *analyse critique* approfondie de la manière dont l'information climatique est produite. Le guide doit plutôt servir comme rappel aux utilisateurs de se montrer plus critiques envers l'information qui leur est donnée. Également, il doit servir de rappel aux fournisseurs de services climatiques d'être plus transparents, non seulement dans leur offre d'information climatique en tant que telle, mais également dans la manière dont cette information est produite. Il est important de comprendre que la collaboration avec des experts en climatologie s'avérera souvent nécessaire, même en utilisant ce guide. Cependant, l'information fournie ici facilitera une telle collaboration.



2. CLASSIFICATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE

L'objectif de cette section est de familiariser les décideurs avec l'information climatique et son utilisation. Plus précisément, les objectifs sont : 1) d'accroître leur compréhension des figures et des graphiques (formats d'information climatique) utilisés pour présenter l'information; et 2) de mieux repérer l'information la plus appropriée aux différentes étapes d'un cadre d'adaptation (figure 1).

2.1 Définition de l'adaptation et du décideur

Le terme *adaptation* est utilisé dans ce guide pour désigner tous les processus, actions et stratégies qui permettent aux populations et aux organisations de faire face aux conditions de changement climatique, de les gérer et de s'y adapter, afin que les risques soient minimisés et que les opportunités soient exploitées¹³. Adaptation est donc utilisé au sens large et désigne un éventail d'actions qui sont souvent divisées en deux catégories¹⁴ :

1. *Dans le développement d'une capacité d'adaptation*, ce qui comprend la mise sur pied de systèmes pour la recherche et la collecte de données, la sensibilisation, l'évaluation des vulnérabilités et des risques, le soutien des structures sociales de même que la gouvernance.

2. *Dans l'exploration des résultats de l'adaptation*, ce qui comprend le démarrage d'activités qui réduisent les vulnérabilités ou qui tirent profit des opportunités.

De concert avec le terme « adaptation », l'expression *décideur* est utilisée dans ce guide pour désigner tous les individus qui prennent part à n'importe laquelle des activités énumérées ci-dessus. Cela comprend donc une vaste gamme d'utilisateurs, allant de ceux qui amorcent

une réflexion sur le changement climatique jusqu'à ceux qui sont prêts à mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Il est important de garder à l'esprit qu'un décideur donné peut, au fil du temps, se retrouver à différentes étapes du cadre d'adaptation. Par exemple, des décideurs peuvent considérer ou mettre en œuvre différentes décisions, au fur et à mesure que leur connaissance de l'information climatique augmente ou que les conditions changent. Ainsi, un décideur peut vouloir d'abord évaluer la vulnérabilité potentielle d'une ville au changement climatique (étape 4 de la figure 1) puis, en se basant sur cette évaluation initiale, réviser ensuite les politiques et les normes pour y inclure des mesures d'adaptation particulières (étapes 5 et 6 de la figure 1). L'information climatique requise pour ces deux actions peut ne pas être la même. **Par conséquent, les catégories d'information climatique présentées dans cette section ne reflètent pas un type de décideur donné, mais plutôt le type de décision qui est prise.** Tout au long de ce guide, le terme « utilisateur » sera utilisé de manière interchangeable avec « décideur ».

2.2 Définition de l'information climatique

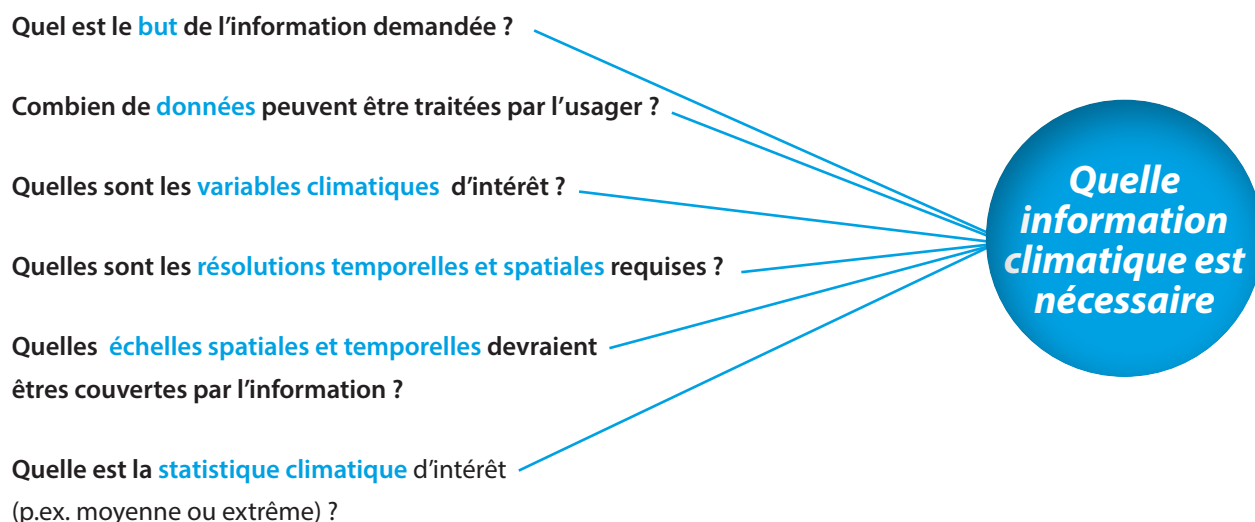
Le terme « information climatique » est utilisé dans ce document pour désigner les données climatiques qui sont obtenues de deux sources : les observations du climat (comme la température et les précipitations observées provenant de stations météorologiques) et les sorties de modèles climatiques. La première source fournit de l'information sur les événements passés, alors que la seconde peut simuler tant le passé que le futur. Ce guide met surtout l'accent sur l'information climatique future.

2.3 Identification des besoins des utilisateurs

Les fournisseurs de services climatiques posent un certain nombre de questions simples afin de déterminer le type d'information climatique qu'ils devraient fournir (figure 2, adaptée de Lu 2006¹⁵). Comme illustré dans cette figure, les questions portent sur la manière dont l'information sera

utilisée, sur la capacité de l'utilisateur, ainsi que les détails des données climatiques qui doivent être fournis. Les questions aident les fournisseurs de services climatiques à déterminer quelle information est requise, et aussi à personnaliser l'information dans un format pertinent.

Figure 2. Exemples de questions à considérer afin d'évaluer les besoins en information climatique des décideurs.



Ces questions sont utilisées dans ce document pour construire un organigramme (figure 3) qui constitue dans les faits une feuille de route pour la production d'information climatique. L'organigramme prend la forme d'un arbre de décision et dirige les décideurs vers l'une des trois grandes

catégories d'information climatique : de base, intermédiaire et détaillée. Il permet aux utilisateurs de voir comment leurs réponses à ces questions sont utilisées pour déterminer quelle information est jugée la plus pertinente et appropriée à leurs besoins.

Le but de l'arbre de décision est de déterminer :

1. Une catégorie générale d'information qui convient au but ou à l'objectif de l'utilisateur.
2. Le produit et le format d'information les plus appropriés à l'expertise ou aux préférences de l'utilisateur.

2.3.1 Catégories d'information climatique

Les trois catégories d'information climatique, de base, intermédiaire et détaillée, reflètent une augmentation générale du détail l'information fournie. Toutefois, elles peuvent aussi être le portrait de la quantité de travail requise pour produire l'information, du soutien qui doit être apporté aux usagers pour utiliser l'information, ou du niveau d'incertitude associé à l'information donnée.

Trois critères essentiels sont utilisés pour distinguer les trois catégories. Le premier critère est l'**usage de l'information** ou la raison pour laquelle l'information est requise; le deuxième est le type de **variable (ou indice)** climatique qui doit être fourni; et le troisième porte sur les **échelles et résolutions spatiales et temporelles** auxquelles l'information doit être établie.

Il est important de noter que ces trois critères sont tout aussi importants quant à leur effet sur le résultat de la classification. Cela implique, par exemple, qu'un utilisateur qui souhaite évaluer les conséquences du changement climatique (usage de l'information) sur une espèce donnée ne se trouve pas nécessairement dans la catégorie intermédiaire de besoins, car cela dépend aussi, par exemple, des variables climatiques requises. De manière similaire, une personne qui veut évaluer les options d'adaptation ne se trouve pas de facto dans la catégorie d'information détaillée.

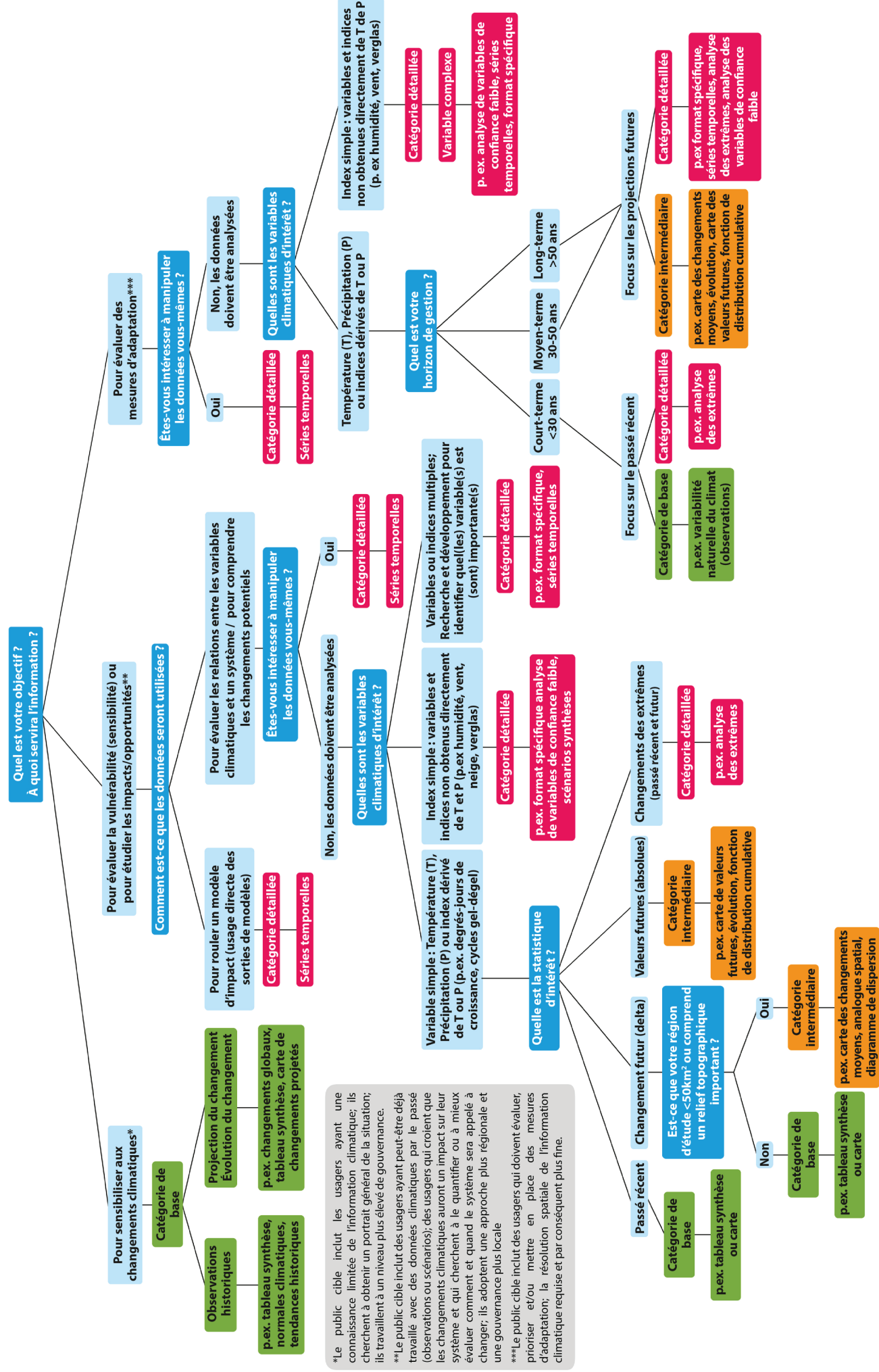
Veuillez noter que le but n'est pas nécessairement de « progresser » d'une catégorie à la suivante (de base jusqu'à détaillée). Des décisions complexes n'exigent pas nécessairement de l'information détaillée. Pour certains utilisateurs, il y aura une progression dans le type d'information requise, selon leurs connaissances actuelles et les types de décisions qu'ils doivent prendre au fil du temps. Cependant, pour d'autres, une information climatique de base sera suffisante pour éclairer des décisions pourtant assez complexes.

2.3.2 Produit et format d'information climatique

Tel que mentionné plus haut, les catégories d'information climatique évaluent le niveau général de complexité de l'information requise par les utilisateurs. Cependant, la façon dont l'information est présentée peut être tout aussi importante. La mise en forme appropriée de l'information peut assurer que les données sont non seulement utiles, mais deviennent davantage utilisables. **Les antécédents et les domaines d'expertise de l'utilisateur joueront un grand rôle dans le choix d'un format optimal.** En d'autres termes, la même information climatique peut être présentée de différentes manières selon l'expertise ou les préférences.

Le terme « produit » est utilisé dans ce guide pour désigner l'information climatique (p. ex. la variable climatique, l'horizon, la résolution du modèle, etc.) qui est fournie à l'utilisateur, alors que le terme « format » réfère à la manière dont l'information est présentée ou à sa mise en forme. Par exemple, les changements projetés de la température annuelle au Canada pour l'horizon 2050 (le produit) peuvent être communiqués sous la forme d'un tableau, d'une carte ou d'une figure (le format).

Figure 3. Une feuille de route pour classer les besoins des utilisateurs



2.4 Vue d'ensemble des trois catégories de besoins en matière d'information climatique

Le tableau 1 présente une vue d'ensemble générale du type d'information qui peut être fourni pour chacune des trois catégories, de même que des exemples d'objectifs typiques sous chaque catégorie.

Information de base

Usage de l'information : ces études visent généralement un survol initial des risques potentiels liés au changement climatique. Les objectifs sont d'établir si le changement climatique pourrait avoir des conséquences sur un système social, bâti ou environnemental; et d'évaluer si (et/ou quand) le changement climatique sera susceptible de devenir un problème. Cette évaluation peut être effectuée en évaluant si un système est déjà sensible au climat actuel ou passé. Cela implique de déterminer où peuvent se trouver les vulnérabilités et opportunités potentielles.

Variable climatique : à cette étape, le besoin en information climatique peut être assez faible, et n'exiger généralement que des variables climatiques simples, comme les précipitations et la température.

Résolution spatiale et temporelle : la production des changements projetés peut n'exiger qu'une résolution et échelle spatiales assez grossières (notez que les concepts d'échelle et de résolution sont souvent reliés : en d'autres termes, lorsque de l'information est requise à une échelle plus petite, il faut souvent avoir recours à de l'information à une résolution plus fine); de plus, le choix d'une résolution temporelle précise n'est pas très important à cette étape. L'importance est de déterminer si un changement est projeté ou se produit déjà parallèlement à la direction du changement, et pas nécessairement d'établir le taux exact auquel le changement sera observé.

Information intermédiaire

Usage de l'information : ces études visent généralement une évaluation plus détaillée des conséquences potentielles (risques et opportunités) d'un changement climatique. L'objectif est de caractériser les risques ou d'évaluer la relation entre le climat et une composante plus précise du système (p. ex. la croissance d'une espèce de plante ou la vulnérabilité d'une infrastructure particulière). Le but est de comprendre comment le climat

pourrait affecter les gens et l'environnement. Les études de ce genre sont également l'occasion pour les utilisateurs de réfléchir sur le seuil critique d'un système ou sur le degré de magnitude qui occasionnerait un changement soudain. Elles aident à déterminer l'étendue du changement auquel le système peut s'adapter, ainsi que l'étendue pour laquelle le système deviendra si vulnérable que des mesures d'adaptation seront nécessaires.

Variable climatique : les besoins pour de telles études exigent souvent des indices climatiques plus complexes, dérivés de la température et des précipitations, comme les degrés-jours de croissance ou les cycles de gel-dégel. Il y a souvent un besoin pour des valeurs futures projetées, plutôt que le changement (ou delta) projeté.

Résolution spatiale et temporelle : les résolutions pour ces études varieront selon la portée de l'étude et la variable climatique ciblée. Cependant, les études d'impact sont généralement effectuées à une échelle et à une résolution spatiale plus fines.

Information détaillée

Usage de l'information : ces études se concentrent souvent sur l'évaluation, la priorisation et la conception d'options d'adaptation détaillées, une fois que les répercussions principales ont été établies.

Variable climatique : les variables climatiques varieront selon les études. La recherche portant simultanément sur plusieurs indices climatiques se trouve dans cette catégorie, tout comme les études qui analysent les changements projetés des extrêmes. En termes d'indices uniques, l'analyse d'indices qui ne sont pas dérivés de la température ou des précipitations et pour lesquels le niveau de confiance est plus faible, comme le vent, l'humidité, l'écoulement fluvial et la neige au sol, figure également dans cette catégorie.

Résolution spatiale et temporelle : l'évaluation des options d'adaptation est invariablement effectuée sur des échelles spatiale et temporelle plus fines, qui exigent de l'information à une résolution plus fine, alors que la résolution temporelle dépend de l'horizon de planification des décisions à prendre, ce qui peut varier d'une étude à l'autre.

Tableau 1. Vue d'ensemble des trois catégories d'information climatique.

CATÉGORIE	Exemple d'objectifs et d'usages	Type d'information climatique généralement fournie	Exemples de formats courants d'information	Exemple d'étude de cas sur la prise de décision
DE BASE	Pour sensibiliser (fig. 3) : - sensibilisation initiale - survol des risques - gouvernance de haut niveau	Tendances historiques et changements moyens futurs sur de vastes échelles spatiales et temporelles, et pour des variables climatiques simples	- Tableaux synthèses - Normales climatiques - Tendances historiques - Changements globaux - Cartes des changements régionaux projetés	Nouvelles politiques d'aménagement urbain pour assurer le remplacement des anciens toits par des toits blancs, afin de combattre l'effet d'îlot thermique (page 27)
INTERMÉDIAIRE	Pour évaluer les vulnérabilités / étude d'impact (fig. 3) : - évaluation des vulnérabilités - étude d'impact - amélioration de la résilience - développement initial d'un plan d'adaptation	Changements futurs ou valeurs absolues futures de variables climatiques plus complexes, sur des échelles spatiales plus fines	- Tous les formats de la catégorie de base, plus : - Analogues spatiaux - Diagrammes de dispersion - Carte des valeurs futures projetées - Évolutions des valeurs futures - Fonctions de distributions cumulatives	Une évaluation des mesures d'adaptation potentielles pour combattre les espèces envahissantes de cultures (page 41)
DÉTAILLÉE	Pour évaluer les options d'adaptation (fig. 3): - évaluation des mesures d'adaptation - recherche et développement - gouvernance locale	Changements futurs des moyennes, valeurs absolues ou extrêmes, sur des échelles spatiales plus fines	- Tous les formats des catégories d'information de base et intermédiaire, plus - Format particulier - Séries temporelles - Analyses des extrêmes - Analyses des événements et des indices climatiques de confiance faible au moyen de scénarios synthétiques ou de modèles climatiques	Développement d'un système d'alerte de faibles débits et de prélèvements d'eau excessifs (page 59)

Encadré 1 : Exemples d'objectifs d'information climatique et de questions spécifiques à chaque catégorie d'information climatique

Exemple 1

Objectif général : évaluer la vulnérabilité de la population canadienne au changement climatique

DE BASE : déterminer si les températures en été et en hiver (ou les deux) sont susceptibles de changer à l'avenir; déterminer quelles régions du Canada sont les plus à risque.

→ Cartes des changements projetés de température et de précipitations partout au Canada

INTERMÉDIAIRE : pour les régions identifiées ci-dessus, évaluer quelle variable climatique affectera le plus les régions vulnérables.

→ Évolution des changements projetés de température et de précipitations dans les régions sélectionnées

DÉTAILLÉE : évaluer le changement projeté des températures extrêmes d'été dans les principaux centres urbains du Canada; évaluer si les événements d'inondation deviendront plus fréquents dans les centres urbains.

→ Analyse des événements de température et de précipitations extrêmes pour des villes précises

Exemple 2

Objectif général : diminuer la vulnérabilité des agriculteurs par rapport à des événements de sécheresse extrême dans les Prairies.

DE BASE : identifier les régions les plus susceptibles de connaître des augmentations de température et des baisses de précipitations en été.

→ Tendances historiques des précipitations et de la température en été, de même qu'un tableau synthèse des changements projetés.

INTERMÉDIAIRE : évaluer les changements de l'humidité du sol pendant la période de croissance pour les régions les plus vulnérables; identifier d'autres régions ayant un climat comparable.

→ Analogues spatiaux de l'humidité du sol des régions au sud des zones affectées

DÉTAILLÉE : déterminer si l'utilisation de nouvelles espèces de culture serait économiquement bénéfique pour les régions affectées.

→ Séries temporelles de variables climatiques utilisées comme entrées d'un modèle de croissance de nouvelles espèces de culture potentielles.

2.5 Prise de décision au moyen de l'information climatique et son incertitude associée

Comprendre l'information climatique constitue une étape fondamentale dans la prise de décision éclairée par rapport au changement climatique. Cependant, l'information climatique n'est qu'un des nombreux aspects qui doivent être considérés dans un processus de prise de décision. De nombreux autres facteurs, comme les changements démographiques, les avancées technologiques et la tolérance au risque, jouent également un rôle essentiel⁹. Bien que le processus de prise de décision quant à l'adaptation dépasse le cadre de ce guide, les messages essentiels pertinents qui découlent de l'information présentée dans ce guide comprennent :

1. Les décideurs sont fréquemment aux prises avec de nombreuses différentes sources d'incertitude par rapport au futur, en plus du fait que le climat ou le temps sont également en changement. Les changements démographiques, la croissance économique et de nombreuses autres variables affectent la manière dont les décisions sont prises, mais n'entravent pas les décisions à long terme comme l'investissement dans des infrastructures importantes ou la protection d'une zone contre le développement. Les leçons apprises pendant la prise de décision quant à ces autres incertitudes peuvent aider au processus de prise de décision dans un contexte de changement climatique.

2. L'information climatique ne doit jamais être la seule base sur laquelle les décisions sont prises, mais être plutôt **utilisée de concert avec d'autres outils d'aide à la décision** comme les analyses coûts-avantages ou multivariées et les outils d'établissement des cartes de risques. L'information pertinente sur les facteurs sociaux, environnementaux et économiques doit également être considérée. L'ajout d'un éventail de facteurs contribuera à s'assurer que les décisions sont solides et plus faciles à mettre en œuvre. De telles analyses aideront à déterminer quelles mesures d'adaptation sont intéressantes en théorie, mais qui sont susceptibles de causer des effets indésirables, ou qui sont économiquement non viables ou impossibles à mettre en place par manque de soutien de la part du public.

3. Il n'existe pas un meilleur scénario climatique. L'éventail de résultats obtenus d'un grand nombre de simulations

climatiques doit être utilisé pour la prise de décision. Cette diversité de résultats de modèles climatiques informe le décideur sur les résultats probables du pire et du meilleur cas, étant donné l'état actuel des connaissances.

Une des manières d'intégrer l'éventail de résultats de modèles climatiques à un cadre efficace de prise de décision est au moyen d'une **analyse de sensibilité**, qui permet aux décideurs d'évaluer les conséquences de chaque futur possible. L'objectif est d'évaluer les conséquences associées à une gamme de différents scénarios climatiques et de considérer l'efficacité des mesures d'adaptation par rapport à cet éventail de futurs climatiques plausibles. Différentes approches peuvent être utilisées pour effectuer une analyse de sensibilité, par exemple :

- estimer les conséquences de chaque futur possible;
- déterminer les scénarios climatiques pour lesquels une politique ou une mesure d'adaptation donnée échouerait, ainsi que les conséquences d'un tel échec;
- utiliser l'éventail complet de scénarios pour déterminer quelles mesures d'adaptation fonctionneront bien, peu importe l'ordre de grandeur ou l'intensité du changement climatique attendu.

La planification de scénarios constitue une autre manière d'envisager l'incertitude. Dans cette approche, des étapes initiales communes sont définies pour un certain nombre de solutions différentes possibles, qui ne limitent pas les résultats à une seule issue, mais laissent ouvertes plusieurs options. Des jalons essentiels peuvent être utilisés pour réévaluer les mesures d'adaptation à la lumière des meilleurs résultats scientifiques offerts, et pour modifier les plans au besoin.

4. La prise de décision dans un monde en changement exige qu'une approche itérative de la gestion du risque soit privilégiée. Les décisions doivent être réévaluées et modifiées au fur et à mesure que de nouvelles connaissances sur les variables climatiques ou non climatiques sont découvertes. La surveillance et l'apprentissage doivent être une composante importante du processus.

3. FORMATS D'INFORMATION CLIMATIQUE

L'objectif de cette section est de présenter des exemples des différentes manières de personnaliser la présentation de l'information climatique. La mise en forme appropriée de l'information peut assurer que les données sont non seulement utiles, mais deviennent plus utilisables. Les antécédents et les domaines d'expertise de l'utilisateur joueront un grand rôle dans le choix d'un format optimal.

Il est important de noter que la même information climatique (p. ex. tendances passées ou changements futurs projetés) peut parfois être présentée dans des formats différents.

Par exemple, les changements projetés de températures peuvent être présentés au moyen d'un tableau synthèse (p. ex. p. 16), d'une carte (p. ex. p. 24) ou d'un graphique traçant l'évolution du changement en fonction du temps (p. ex. p. 36). La complexité du format tend à augmenter entre les catégories d'information.

Nous tenterons ici dans la mesure du possible de présenter le plus de formats couramment utilisés. Cependant, de nouveaux formats sont continuellement développés par les fournisseurs de services climatiques, et des formats particuliers peuvent toujours être créés pour répondre aux préférences des décideurs ou aux particularités d'un projet.

Les figures, cartes et graphiques présentés dans cette section sont accompagnés d'explications sur la manière de construire et d'interpréter l'information, de même que sur les limites ou mises en garde quant à celle-ci. Des études de cas mettront également en évidence des applications pour différents types d'information climatique.

Horizons futurs et période de référence

Les changements projetés pour le futur sont souvent donnés pour des périodes particulières, appelées horizon temporel futur (ou simplement horizon, aux fins du présent document). Les changements climatiques sont exprimés en termes de changements entre un horizon futur et une période de référence (ou base de référence). Notez que pour la production des scénarios climatiques, les sorties de modèle climatique tant pour la période de référence que pour l'horizon futur sont utilisées. Tant les horizons futurs que les

périodes de référence sont généralement de 30 ans, comme recommandé par l'Organisation météorologique mondiale et largement adopté par la communauté scientifique de climatologie. Des exemples d'horizons temporels futurs sont l'horizon 2050, qui correspond à la période 2041-2070, et l'horizon 2080, qui correspond à la période 2071-2100. Les périodes de référence sont habituellement mises à jour régulièrement; des exemples courants comprennent des périodes comme 1971-2000 et 1985-2005.

Il est important de noter que ce guide met principalement l'accent sur les scénarios climatiques construits sur des périodes de référence relativement courtes. Cependant, de l'information climatique historique sur une période plus longue peut également être précieuse, surtout pour les études qui se concentrent sur l'analyse de tendance ou sur la variabilité climatique interannuelle. De telles applications devraient utiliser des dossiers de données homogénéisées, qui ont été corrigées pour tenir compte des changements liés aux facteurs non climatiques, comme le déplacement de stations ou le changement d'instrumentation.

Concepts fondamentaux en modélisation climatique

Un grand nombre de concepts utilisés dans cette section sont expliqués plus en détail à la section 4 :

1. Modèle climatique, simulation climatique, projection climatique, scénario d'émission et scénario de changement climatique
2. Émissions de gaz à effet de serre : les SRES et les RCP
3. Caractéristiques du climat et de la variabilité naturelle
4. Utilisation d'ensembles de simulations (nombre de simulations à utiliser)
5. Sources d'incertitude pour les projections
6. Techniques de mise à l'échelle
7. Techniques de post-traitement

L'utilisation de **caractères gras** dans cette section rappelle au lecteur que de l'information additionnelle sur ces concepts est présentée à la section 4. .

CATÉGORIE DE BASE



3.1 INFORMATION DE BASE

Cette catégorie comprend de l'information climatique historique issue des données climatiques observées, de même que des changements futurs moyens projetés à l'aide des modèles climatiques.

L'information climatique comprise dans cette catégorie est généralement produite pour de grandes régions et de longues périodes. Elle représente le type d'information couramment offerte dans les rapports sommaires et sur les sites Web. Des échelles et résolutions spatiales et temporelles grossières font que ce type d'information est pertinent pour un grand nombre d'utilisateurs.

Cinq exemples sont présentés pour souligner comment l'information climatique passée et future peut être personnalisée au moyen de différents formats. Du plus simple au format un peu plus complexe :

1. Tableau synthèse : utilisé pour présenter tant les changements passés que futurs
2. Normales climatiques : utilisées pour présenter les moyennes climatiques (p. ex. sur 30 ans)
3. Tendance historique : utilisée pour présenter l'évolution à long terme du climat passé
4. Changements globaux : utilisés pour présenter les changements projetés à l'échelle mondiale
5. Carte des changements régionaux projetés : utilisée pour présenter les changements projetés à une échelle spatiale plus petite

3.1.1 Tableau synthèse

Variable climatique	Saison	Changements projetés pour l'horizon temporel futur 2050 (2041-2070)	
		Médiane de l'ensemble	Plage (10 ^e au 90 ^e percentiles)
Température moyenne (°C)	Annuel	+1.8 °C	+1.3 °C à 2.7 °C
Précipitations (mm)	Annuel	+6%	+2% à +12%
	Été	-1%	-8% à +6%
	Hiver	+8%	-2% à +15%
Degrés-jours de croissance (degrés-jours)	Annuel	+283 degrés-jours	+179 à +429 degrés-jours
Jours sans gel (jours)	Annuel	+20 jours	+12 à +29 jours

Tableau 2. Sommaire du changement climatique projeté pour la Colombie-Britannique pour l'horizon 2050 (2041-2070), comparé à la période de référence 1961-1990. Remarque : Les valeurs sont calculées au moyen d'un ensemble de 30 projections de modèles climatiques globaux dérivées de 15 MCG différents, chacun utilisant 2 scénarios SRES d'émissions de gaz à effet de serre (A2 et B1).

Source : L'information a été tirée du site Web du PCIC (<http://www.pacificclimate.org/analysis-tools/plan2adapt>)

Quelle information climatique est présentée ?

Le tableau ci-dessus montre les changements **projetés** des moyennes de température, de précipitations, de degrés-jours de croissance et de jours sans gel pour l'horizon 2050 (2041-2070) comparé à la **période de référence** 1961-1990 pour la Colombie-Britannique.

Comment le tableau est-il construit ?

Les tableaux synthèses peuvent résumer des tendances historiques ou des changements projetés (comme l'exemple montré ici) pour un **horizon temporel futur** donné et une région à l'étude, et peuvent être exprimés en termes de changements mensuels, saisonniers ou annuels. Le sommaire peut être réalisé pour toute région à l'étude, par exemple à l'échelle mondiale, provinciale ou régionale.

Les changements projetés sont déterminés à partir de modèles climatiques qui simulent l'évolution future d'une variable climatique sur de longues périodes. Les changements sont donnés pour des horizons temporels particuliers, sur lesquels la moyenne de changement d'une variable est établie puis comparée à la moyenne d'une période de référence (comme 1961-1990 ou 1971-2000). Dans ce cas, les changements sont calculés sur l'horizon 2050 (2041-2070) au moyen de 15 **modèles climatiques globaux** avec 2 scénarios d'émissions **SRES**.

Un point important à noter est que les changements représentent la différence entre les valeurs futures simulées et les valeurs de référence *simulées*. En d'autres termes, les changements ne représentent pas la différence entre une sortie de modèle et les valeurs de **normales climatiques** observées (ou de référence), mais plutôt la différence entre deux sorties de modèle.

Dans le tableau présenté ici, les changements des quatre variables climatiques sont exprimés en tant que médiane de **l'ensemble de modèles** et la dispersion dans l'ensemble. La médiane de l'ensemble est une valeur à mi-chemin de toutes les simulations utilisées pour calculer les changements, alors que la plage représente les 10^e le 90^e percentiles de toutes les valeurs. La plage de valeurs des différents modèles est

généralement appelée **l'incertitude** dans les modèles, même si elle comprend plus que les simples différences entre modèles.

Comment la figure est-elle interprétée ?

Les changements présentés dans le tableau sont sans ambiguïté : des augmentations projetées de toutes les variables sur la Colombie-Britannique, sauf les précipitations d'été, pour lesquelles le changement médian projeté montre une faible baisse. La plage de valeurs souligne les différences entre toutes les **simulations** utilisées.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

La principale limite de cette information provient du fait que les changements sont estimés sur des régions possiblement vastes, ce qui peut masquer des différences locales importantes, causées par exemple par des caractéristiques topographiques. Dans ce cas particulier, les valeurs données sont pour toute la Colombie-Britannique. Étant donné les caractéristiques topographiques importantes de cette province, il est facile d'imaginer que les changements «moyens» donnés dans le tableau peuvent ne pas représenter de manière adéquate tous les environnements différents de la Colombie-Britannique.

De plus, il est important de rappeler que, bien que les changements sont projetés sur l'horizon 2050, le changement réel est peut être graduel et peut ne pas être ressenti exactement durant l'année 2050. Aussi, l'absence de changements à l'échelle annuelle peut signifier qu'il n'y a aucun changement, ou que les changements durant une saison sont compensés par ceux d'une autre.

3.1.2 – Normales climatiques

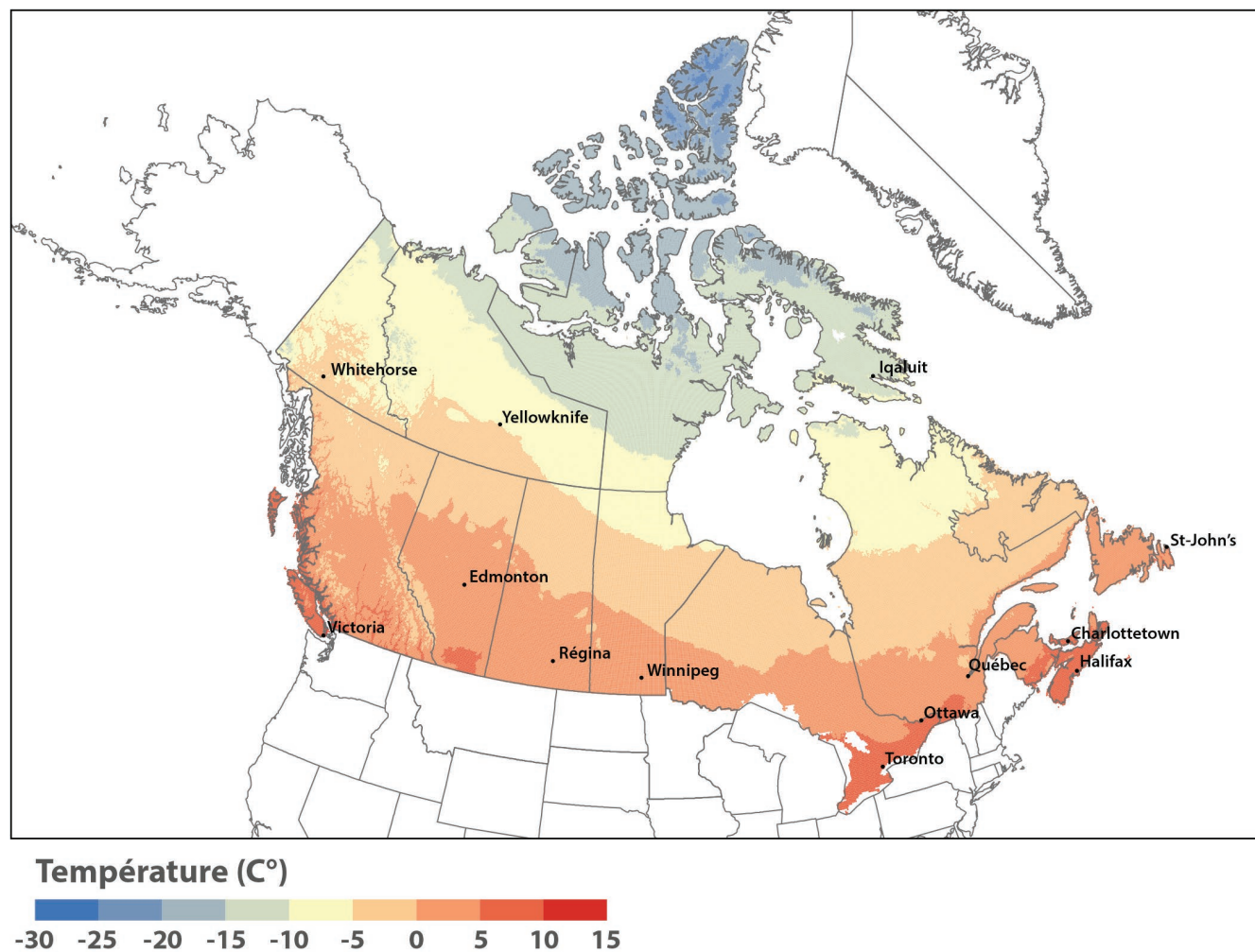


Figure 4. Normales climatiques de la température annuelle moyenne (°C) pour la période de référence 1971-2000. Les valeurs sont calculées à partir de données de stations météorologiques d'Environnement Canada qui ont été interpolées sur une grille de 10 km par 10 km et qui sont disponibles sur un site de RNCan¹⁶.

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

Cette figure montre une carte des températures annuelles moyennes observées au Canada pour la période 1971-2000.

Comment la figure est-elle construite ?

Les moyennes de la variable climatique observée sont calculées au moyen de séries temporelles de données climatiques obtenues de stations météorologiques partout au Canada*. De telles figures peuvent représenter des variables climatiques simples comme les précipitations et la température moyenne, mais le même format peut être produit pour d'autres indices, comme les degrés-jours de croissance ou les températures maximales et minimales quotidiennes. La moyenne des données des stations météorologiques peut également être calculée pour une région étudiée donnée et pour n'importe quelle échelle temporelle (selon les données offertes).

Dans ce cas, la figure montre les **normales** de température sur 30 ans sur une grille régulière, où chaque valeur de polygone correspond à la température moyenne pour la **période de référence** 1971-2000. La moyenne des valeurs de température quotidienne est calculée pour chaque année de 1971 à 2000, et les moyennes de ces 30 valeurs sont tracées sur la figure. Notez que les normales climatiques sont généralement données pour la même période que celle utilisée comme référence pour la construction des scénarios climatiques; mais cela n'est pas toujours nécessairement le cas.

Comment la figure est-elle interprétée ?

Cette figure montre que les températures annuelles normales ou moyennes varient énormément au Canada. Par exemple, alors que les températures moyennes à Toronto sont autour de 5 °C, les températures annuelles moyennes à Whitehorse et à Yellowknife sont près de -5 à -10 °C. Par conséquent, les populations, les infrastructures et les écosystèmes sont déjà adaptés à des conditions climatiques différentes.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Des figures de ce type donnent aux décideurs une bonne estimation des conditions générales de leur région d'étude. Cependant, les valeurs présentées sont des valeurs moyennes pour une période relativement longue, ce qui masque la **variabilité** du climat d'une saison à l'autre ou d'une année à l'autre. Cette information est adéquate pour des décisions « globales ». Par exemple, cette information indique clairement qu'il est possible de cultiver des espèces de céréales dans le sud du Canada, mais manifestement pas dans le nord du pays. Cependant, l'information peut ne pas fournir suffisamment de détails pour des décisions plus locales, par exemple le choix d'une espèce à cultiver. Cette décision requiert de l'information additionnelle, comme la plage de conditions climatiques à laquelle l'espèce sera soumise. De plus, la carte montre les conditions moyennes du passé récent, mais ne donne aucune indication sur la manière dont ces conditions peuvent changer à l'avenir. Par conséquent, utiliser seulement de l'information historique pourrait causer une maladaptation.

*Ces données proviennent d'une base de données de Ressources naturelles Canada¹⁶. Elles se présentent sous la forme d'un ensemble de données rectangulaires qui couvre tout le Canada, avec une taille de grille de 10 km sur 10 km (les données de stations météorologiques d'Environnement Canada ont été interpolées sur cette grille). Les données couvrent la période 1950-2010. La même analyse pourrait être effectuée au moyen des données de station elles-mêmes ou d'autres ensembles de données similaires avec des tailles de grille différentes (p. ex. CANGRID)

3.1.3 – Tendances historiques

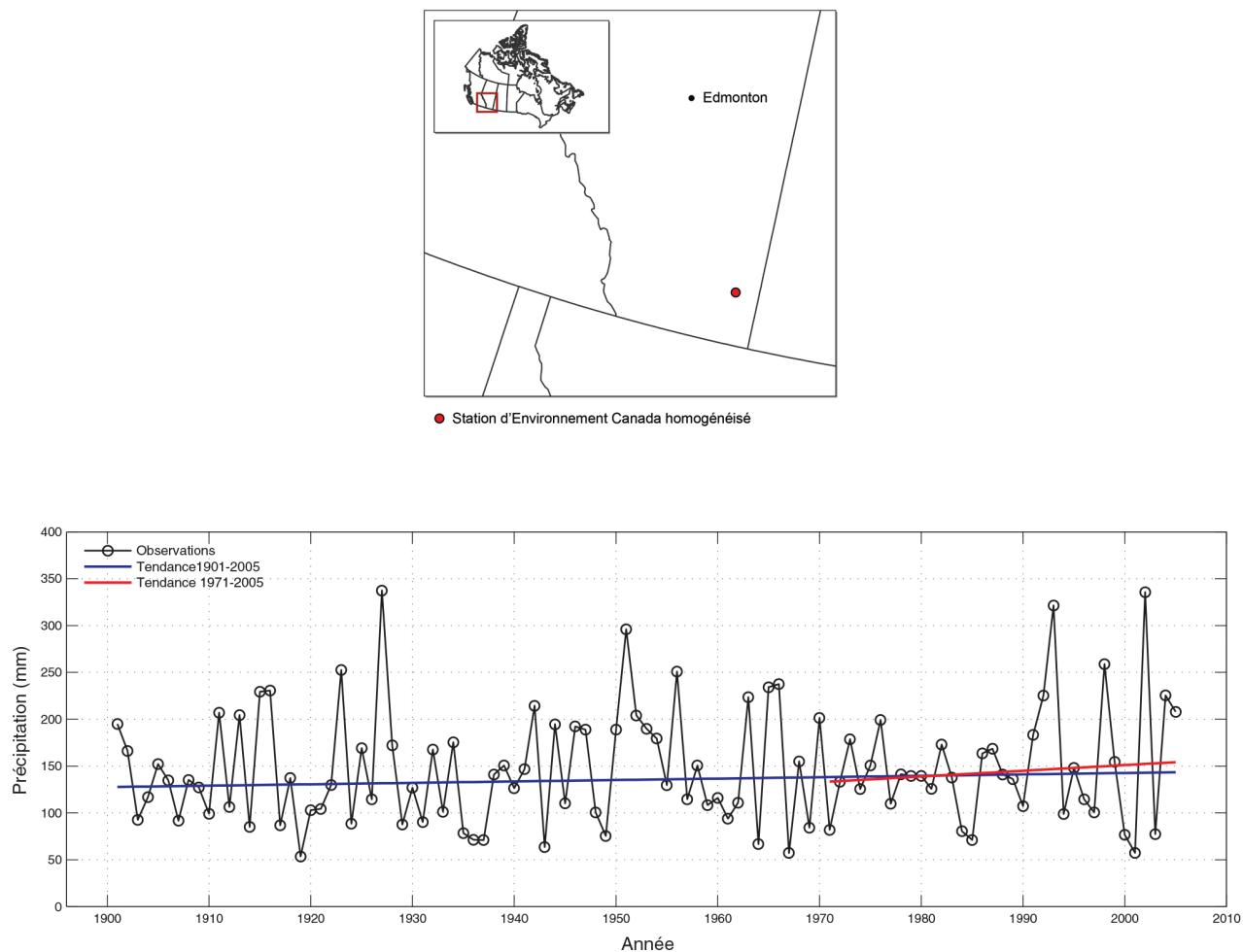


Figure 5. Série temporelle historique de la précipitation totale annuelle (mm) pour la période 1905-2005 pour une station homogénéisée d'Environnement Canada. Les tendances pour les périodes 1901-2005 et 1971-2005 sont présentées en bleu et rouge, respectivement.

Source : T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure montre les valeurs de précipitations annuelles totales (en mm) observées durant la période 1901-2005 pour une station climatique, de même que les tendances linéaires pour deux périodes, 1901-2005 et 1971-2005.

Comment la figure est-elle construite ?

Les tendances observées sont calculées au moyen d'une série temporelle de données climatiques d'une station d'Environnement Canada indiquée sur la carte (Données Climatiques Canadiennes Ajustées et Homogénéisées, DCCAH)¹⁷. Cette base de données contient des données ajustées et homogénéisées de plusieurs stations à travers le Canada. Le fait que les données soient homogénéisées veut dire que ces données ont été corrigées pour différents changements, tels que des changements d'instrumentation, de technique de mesure, ou des changements de localisations des stations, qui peuvent avoir eu lieu avec le temps. Ce type de donnée est plus approprié pour l'évaluation des tendances climatiques, comparativement aux données non-homogénéisées.

Les figures peuvent représenter des variables climatiques simples, comme les précipitations et la température moyenne, mais la même figure peut être produite pour d'autres variables climatiques. La moyenne des données de stations météorologiques peut être calculée pour toute région à l'étude et pour différentes périodes (saisonnière, mensuelle ou quotidienne), selon les données disponibles.

Les points et la ligne en noir représentent la moyenne des valeurs observées annuellement dans la région, alors que les tendances, qui sont représentées par la ligne bleue pour la période 1901-2005 et la ligne rouge pour la période 1971-2005, sont calculées au moyen d'une technique non paramétrique de régression linéaire (pente de Sen).

Comment la figure est-elle interprétée ?

La figure montre l'étendue de la **variabilité naturelle** (ligne noire) des précipitations annuelles totales à Calgary pour la période 1901-2005. Cette plage naturelle comporte des années avec aussi peu que 50 mm de précipitations, et d'autres avec près de 350 mm de précipitations. La figure montre également les tendances linéaires calculées sur toute la série et toute la période 1971-2005. Alors que la tendance 1901-2005 est négligeable, les températures commencent à grimper dans les années 1970.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Dans ce type d'analyse, il faut se rappeler que la période choisie pour le calcul des tendances influence grandement le fait qu'une tendance soit découverte ou non, comme illustré par les lignes bleue et rouge dans le cas présent. Ainsi, des tendances différentes sont observées en fonction des dates de début et de fin choisies, ce qui peut causer une mauvaise interprétation des tendances générales à long terme. Un examen plus approfondi de la figure peut rapidement révéler certaines périodes durant lesquelles on observe une tendance à la baisse (p. ex. 1951-1961) ou à la hausse (p. ex. 1919-1928). Par conséquent, on ne peut pas supposer qu'une tendance passée est pertinente pour le futur; et baser une décision sur une tendance passée donnée doit être fait avec extrême prudence. L'utilisation la plus appropriée des tendances historiques est plutôt de contextualiser l'ampleur des projections. Voilà la raison pour laquelle les modèles climatiques jouent un rôle si important dans notre compréhension du climat futur.

3.1.4 – Changements globaux

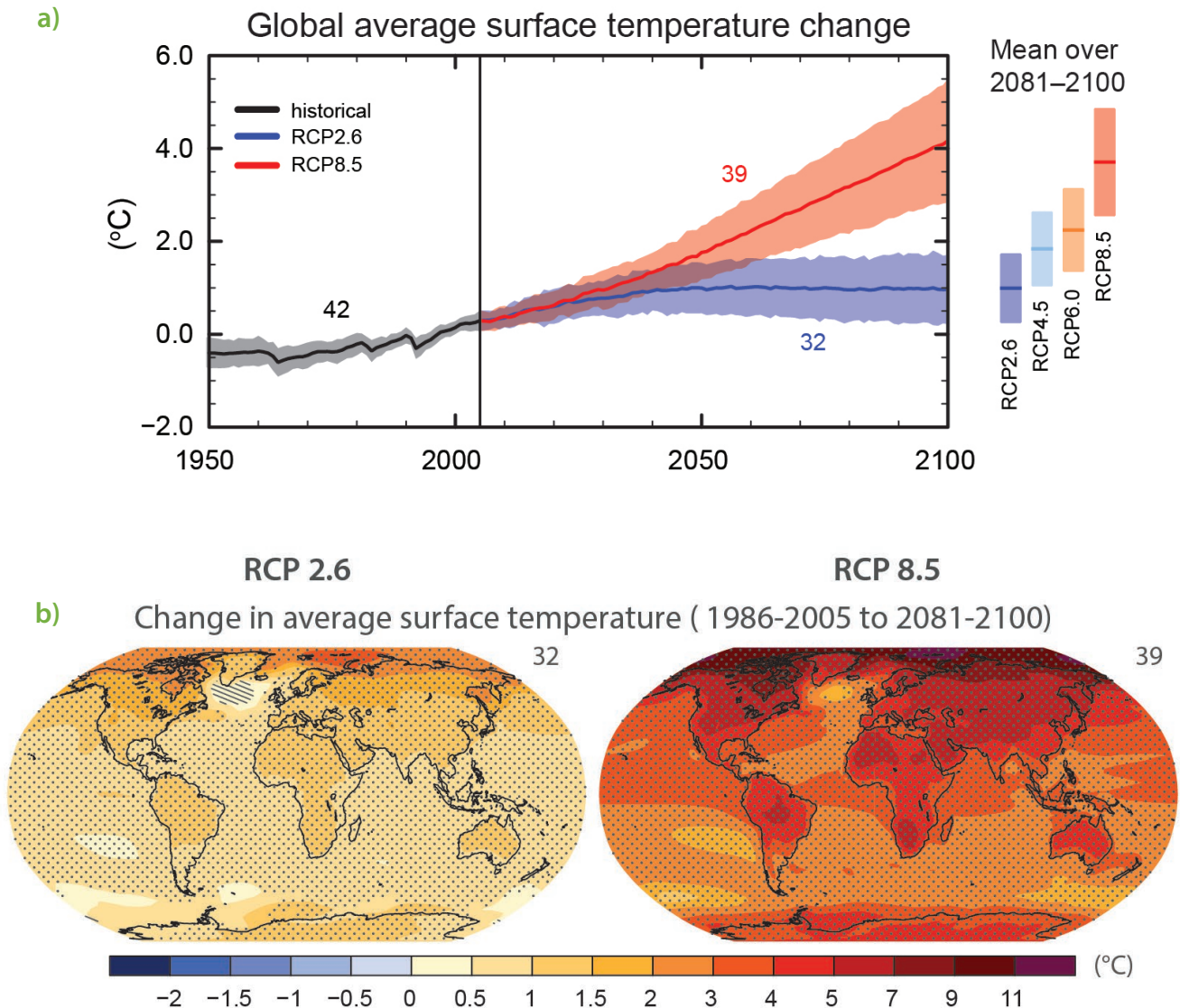


Figure 6

a) Séries simulées à partir de plusieurs modèles CMIP5 de l'évolution de la température annuelle moyenne du globe en surface de 1950 à 2100 par rapport à la période 1986–2005. Les séries chronologiques des projections et une mesure de l'incertitude (parties ombrées) sont présentées pour les scénarios RCP2,6 (en bleu) et RCP8,5 (en rouge). Le noir (couleur grise) représente l'évolution historique modélisée à l'aide des forçages historiques reconstruits. Les moyennes et incertitudes associées sur la période 2081–2100 sont fournies pour tous les scénarios RCP sous forme de bandes verticales de couleur. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèle est indiqué.

b) Cartes des moyennes multimodèles CMIP5 pour les scénarios RCP2,6 et RCP8,5 sur la période 2081–2100. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèle figure dans l'angle supérieur droit de chaque image. Les hachures signalent les régions dans lesquelles la moyenne multimodèle est faible par rapport à la variabilité naturelle interne (c'est-à-dire inférieure à un écart type de la variabilité naturelle interne sur des moyennes de 20 ans). Les pointillés signalent les régions dans lesquelles la moyenne multimodèle est grande par rapport à la variabilité naturelle interne (c'est-à-dire supérieure à deux écarts types sur des moyennes de 20 ans) et dans lesquelles 90 % au moins des modèles s'accordent sur le signe du changement.

Source: GIEC 2013¹⁸

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure montre les changements **projetés** de température moyenne annuelle sur toute la planète, publiés en 2013 par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans leur plus récent rapport d'évaluation¹⁸. Elle illustre les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (**RCP**), les horizons temporels et les **ensembles de modèles climatiques**.

Comment la figure est-elle construite ?

L'illustration du haut présente les **valeurs simulées CMIP5** des températures mondiales d'air en surface pour la période 1950-2100, selon les quatre RCP (Representative Concentration Pathways) différents recommandés par l'Organisation météorologique mondiale. L'évolution de la température est montrée pour deux RCP (2.6 et 8.5), alors que la plage pour les deux autres est également montrée dans la partie droite de la figure.

La figure du bas montre les changements projetés de la température de l'air en surface sur la planète selon RCP2.6 et 8.5 pour la période 2081-2100, comparé à la période de référence 1986-2005.

Comment la figure est-elle interprétée ?

La figure du haut montre que les modèles qui utilisent les quatre RCP prédisent une augmentation des températures de l'air en surface en 2050. Au-delà de ce point, les modèles continuent de prédire des augmentations de température

avec trois des RCP, alors qu'avec le RCP2.6, ils suggèrent l'atteinte d'un plateau d'ici 2100 (voir la section 4 pour une explication de cette divergence).

La figure du bas souligne la variabilité spatiale dans les changements projetés de température sur la planète pour l'horizon 2090, pour les RCP maximal et minimal.

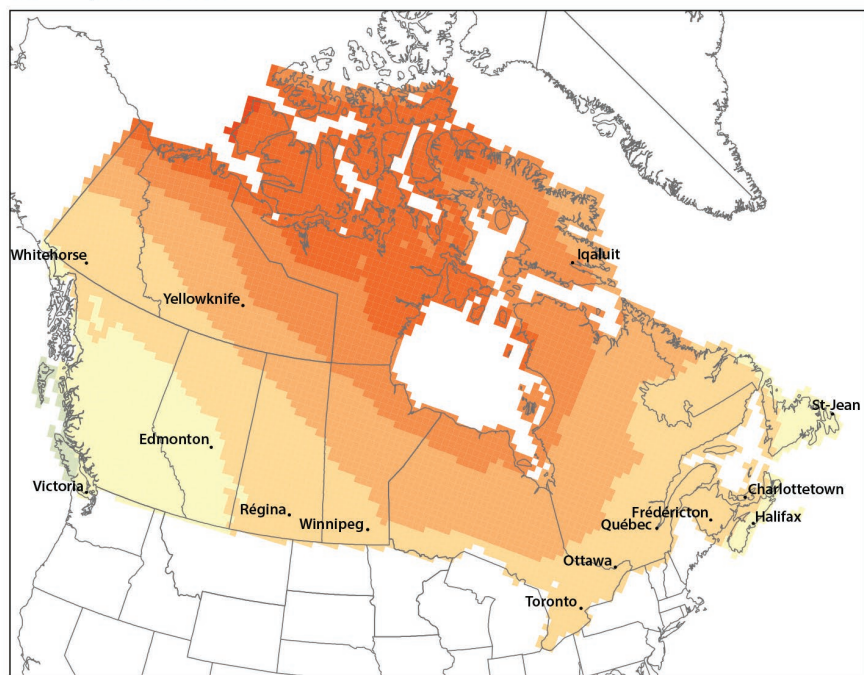
Dans l'ensemble, les figures montrent que l'augmentation des températures moyennes mondiales de surface pour la période 2081-2100 relativement à 1986-2005, projetée selon les quatre RCP, varie de 0,3 à 1,7 °C (RCP2.6), de 1,1 à 2,6 °C (RCP4.5), de 1,4 à 3,1 °C (RCP6.0) et de 2,6 à 4,8 °C (RCP8.5). De plus, la figure du bas suggère que la région arctique se réchauffera plus rapidement que la moyenne mondiale, et que le réchauffement moyen terrestre sera plus élevé que celui sur les océans.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Bien que cette figure indique que les températures augmentent partout sur Terre, elle souligne également que différentes régions ne connaîtront pas une augmentation identique. Par conséquent, ce type d'information climatique peut être utile pour sensibiliser davantage les parties prenantes au changement climatique, tout en masquant cependant que les changements locaux peuvent varier de manière importante par rapport à ce portrait mondial. Ainsi, l'utilisation de projections aussi grossières implique que la pertinence locale des décisions d'adaptation est incertaine.

3.1.5 – Carte des changements futurs (deltas)

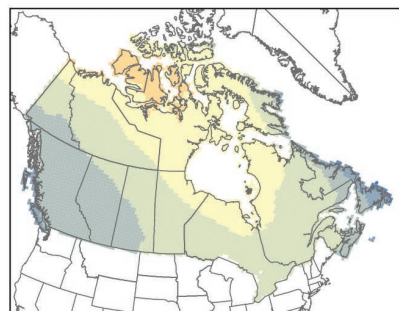
50^{ième} percentile



Température (C°)



10^{ième} percentile



90^{ième} percentile

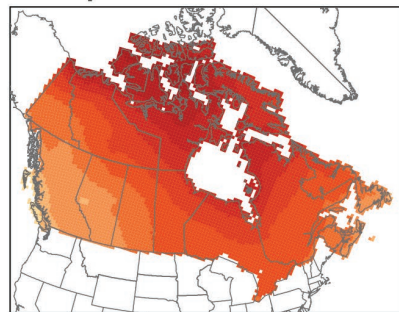


Figure 7. Carte des changements projetés de température (°C) entre la période de référence 1971-2000 et l'horizon 2080 (2071-2100). Les valeurs sont calculées à partir d'un ensemble de 137 simulations climatiques globales. La grande illustration à gauche montre les valeurs médianes de l'ensemble, alors que les petites illustrations à droite montrent les 10^e et 90^e percentiles pour chaque cellule de grille de l'ensemble.

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure présente les changements projetés de température annuelle moyenne partout au Canada pour l'horizon 2080 (2071-2100), comparé à la période de référence 1971-2000.

Comment la figure est-elle construite ?

L'information présentée dans ces figures est essentiellement la même que celle donnée dans les tableaux synthèses, sauf que les changements attendus sont représentés par des cartes, habituellement basées sur des données sur grille. Les changements sont calculés pour un **horizon futur** particulier, en le comparant à la **période de référence** (cela est souvent appelé la méthode de champ de changement). La différence est calculée pour chaque polygone (ou cellule de grille du modèle) et pour toutes les **simulations climatiques** choisies. Les changements peuvent être calculés pour n'importe quelle période donnée, comme les changements mensuels, saisonniers ou annuels (c'est le cas ici). Pour synthétiser les sorties de toutes les simulations utilisées, une médiane de l'ensemble est souvent présentée, comme dans la plus grande illustration ci-dessus.

Comme dans le cas du tableau synthèses, **la plage dans les simulations**, qui donne une estimation de l'**incertitude** dans les modèles, devrait également être représentée. Dans la figure, cela est effectué en donnant des cartes complémentaires qui illustrent la plage des simulations, exprimée par les 10^e et 90^e percentiles. Le choix des percentiles est arbitraire, et pourrait prendre n'importe quelle valeur, comme les 25^e et 75^e percentiles par exemple. Cependant, étant donné que le rôle des cartes est de montrer la plage dans l'ensemble, des percentiles très faibles et très élevés sont souvent préférables.

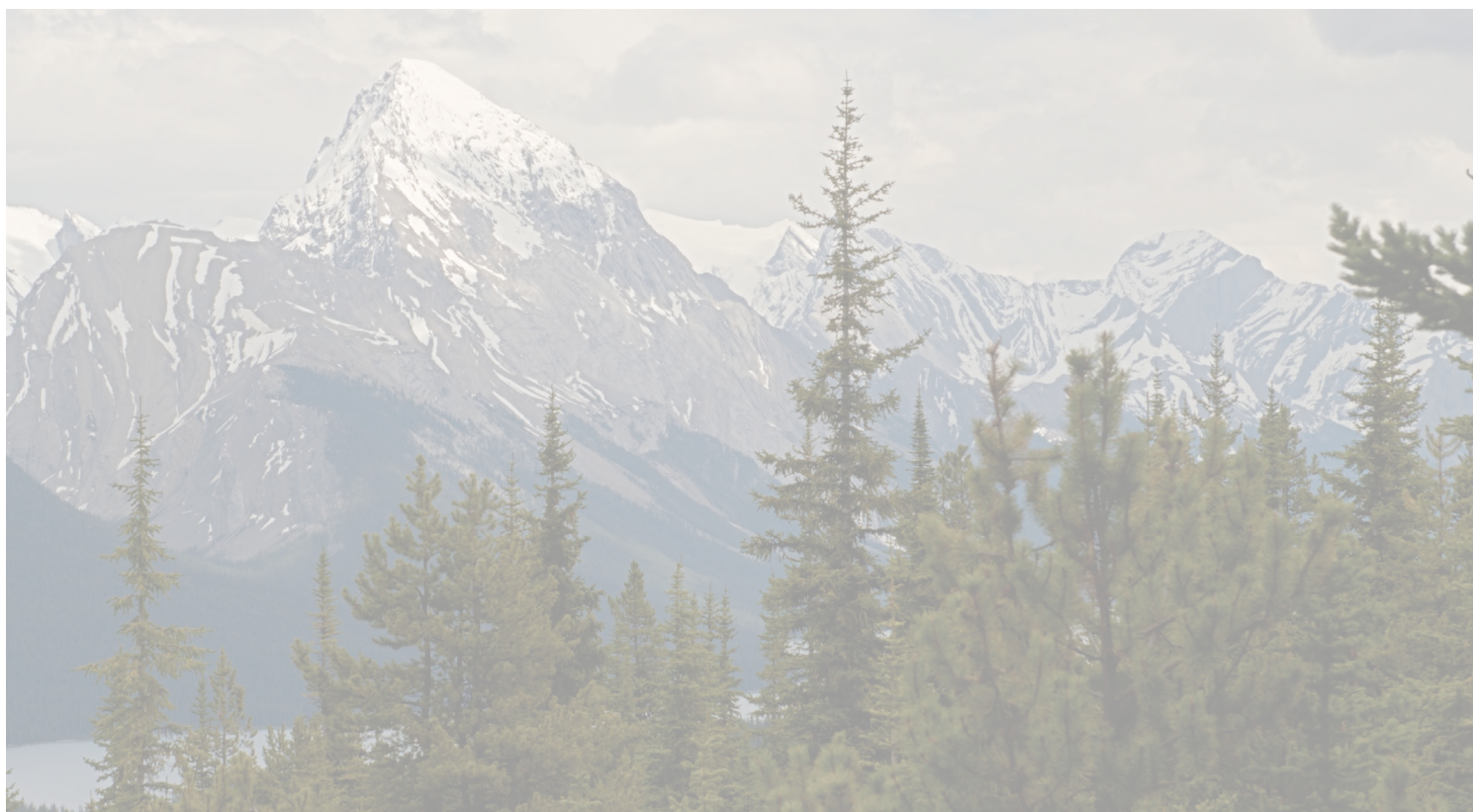
Les changements ou deltas ont été obtenus à partir de 137 simulations de modèles globaux de l'**ensemble CMIP3**, à l'aide de 3 **scénarios d'émissions SRES** (A2, A1b et B1) qui ont été ensuite tracés sur une grille commune. Notez que la taille des polygones est généralement déterminée par la résolution des modèles climatiques utilisés. Par exemple, des modèles climatiques globaux ont typiquement une résolution de 200-300 km, alors que des modèles climatiques régionaux ont une résolution d'environ 45 km ou moins.

Comment la figure est-elle interprétée ?

Les changements médians de température annuelle pour l'horizon 2080 vont de 2,5 à 5 °C, alors que les 10^e et 90^e percentiles suggèrent des changements aussi faibles que 1 °C et aussi élevés que 8 °C. Les plus grands changements sont attendus dans les régions nordiques, particulièrement en hiver.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Les valeurs données dans de telles figures présentent la quantité de changement qui est estimée par les modèles; cependant, afin de prendre conscience de l'ampleur potentielle du changement, il est souvent nécessaire de combiner cette information avec celle donnée par les normales climatiques qui donneront aux utilisateurs une base de référence avec laquelle évaluer les changements projetés. Les tendances climatiques peuvent également fournir un contexte supplémentaire pour aider à interpréter l'ampleur des changements.



3.1.6 Études de cas utilisant de l'information climatique de base

Titre du projet : Séries de sommaires du climat régional, produites par le Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC).

Région : Huit régions ressources de la Colombie-Britannique : Cariboo, Kootenay-Boundary, Northeast, Omineca, Skeena, South Coast, Thompson-Okanagan et West Coast.

Résumé et application : Les sommaires ont été produits avec le soutien du ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique, dans le cadre de la mission continue du PCIC pour aider les parties prenantes régionales avec le plan de la Colombie-Britannique pour les changements climatiques.

Les sommaires décrivent les projections de changement climatique pour chaque région, dans le contexte des observations historiques à l'échelle de la province. Chaque sommaire commence avec une vue d'ensemble générale du changement climatique en C.-B. et une brève discussion de la topographie, des influences climatiques, des écosystèmes et de l'économie de la région.

Les sommaires présentent les tendances historiques de température et de précipitations des régions, au moyen de tableaux synthèses et de figures de l'évolution. Les changements projetés de plusieurs variables climatiques, dont la température, les précipitations, les chutes de neige, les degrés-jours de croissance, les degrés-jours de chauffage et les jours sans gel, sont également donnés pour l'horizon 2050, sous la forme d'un tableau. Ces projections sont reproduites de Plan2Adapt.ca, la plateforme Web du PCIC pour les projections climatiques de base.

En plus de souligner les tendances historiques et les projections, les sommaires présentent également les répercussions importantes qui peuvent toucher différents secteurs, écosystèmes et infrastructures.

L'information présentée dans les sommaires a été utilisée par le gouvernement de la Colombie-Britannique pour présenter un portrait du climat aux décideurs et aux planificateurs de la province. En donnant une vue d'ensemble générale de l'évolution du climat au cours des 100 dernières années et des changements projetés pour les 50 prochaines années, l'information peut être utilisée pour amorcer un dialogue sur les effets déjà ressentis par différents intervenants du secteur et pour commencer une réflexion sur les effets futurs potentiels.

Site Web : <http://www.pacificclimate.org/resources/publications>

Titre du projet : Règlement de zonage de Rosemont – La Petite-Patrie pour réduire l'effet d'îlot thermique urbain.

Région : Arrondissement Rosemont – La Petite-Patrie de Montréal

Résumé et application : Cet arrondissement est aménagé de manière dense et est soumis à des effets d'îlot thermique importants. Ce phénomène se produit dans les villes où les températures ambiantes de l'air ont tendance à être plus hautes que dans les zones avoisinantes, en raison du pourcentage élevé de surfaces sombres (comme les toits recouverts de goudron et les routes en asphalte), de la quantité d'immeubles (en béton) qui retiennent la chaleur et qui se refroidissent plus lentement que l'air ambiant, et de la quantité limitée d'espaces verts.

Afin de combattre ce problème, le conseil d'arrondissement a révisé son règlement de zonage en avril 2011, afin d'inclure les quatre mesures réglementaires suivantes : (1) au moment du remplacement d'un toit existant ou de la construction d'un nouvel immeuble, le propriétaire doit installer un toit vert ou hautement réfléchissant; (2) dans le cas de nouveaux parcs de stationnement de 10 places ou plus, au moins 15 % de la surface doit être un terrain découvert et aménagé avec des plantes, des buissons et des arbres; (3) tous les matériaux de nouveau pavage doivent respecter une norme minimale donnée de réflectivité de surface; et (4) au moment de la construction d'un nouvel immeuble, au moins 20 % du site doit être un terrain découvert et aménagé avec des plantes, des buissons et des arbres.

Cet exemple souligne le fait que de l'information climatique complexe n'est pas toujours requise pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation. En effet, de l'information climatique de base, comme les tendances du passé récent et les changements projetés de température, est suffisante dans ce cas pour comprendre que le problème d'effet d'îlot thermique urbain risque de devenir une préoccupation grandissante à l'avenir.

Site Web :

http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7357,82287591&_dad=portal&_schema=PORTAL

Voir également Richardson et Otero (2012)¹⁹

CATÉGORIE INTERMÉDIAIRE



3.2 INFORMATION INTERMÉDIAIRE

Cette catégorie ne comprend que de l'information sur les changements climatiques projetés. En plus de l'information communiquée dans la catégorie de base, elle inclut une série de formats plus complexes qui peuvent exiger une analyse approfondie des figures.

L'information climatique produite pour cette catégorie tend fréquemment à être à une échelle spatiale plus précise que l'information produite dans la catégorie de base. Par conséquent, l'information climatique est personnalisée pour les besoins particuliers des utilisateurs. Les exemples présentés ici aideront les utilisateurs à se familiariser avec l'interprétation des différents formats.

Cinq exemples sont présentés pour souligner comment l'information climatique peut être personnalisée au moyen de niveaux variés de complexité. Du format le plus simple au plus complexe :

1. **Analogie spatial** : utilisé pour présenter l'état du climat historique à l'avenir.
2. **Diagramme de dispersion** : utilisé pour montrer les changements de variables climatiques pour différentes simulations climatiques.
3. **Carte de valeurs futures projetées** : utilisée pour présenter les valeurs futures projetées d'une variable climatique.
4. **Évolution des valeurs futures** : utilisée pour montrer l'évolution projetée de valeurs futures.
5. **Fonction de distribution cumulative** : utilisée pour présenter la distribution des valeurs projetées.

Notez que les trois derniers formats montrent la même information climatique pour un même emplacement. Ils illustrent donc bien ce que l'on veut dire par « la même information climatique peut être présentée dans différents formats ».

3.2.1 – Analogue spatial

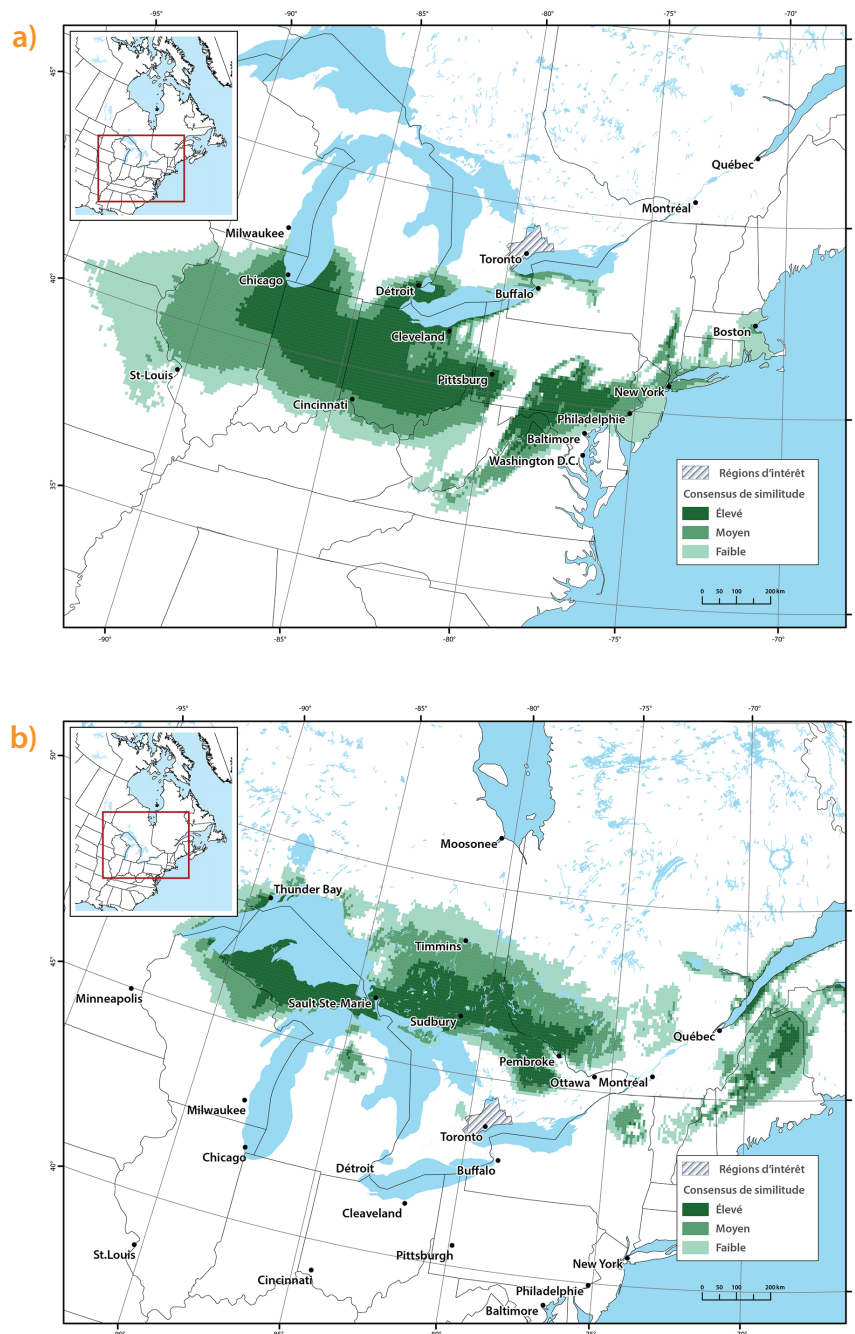


Figure 8. Analogue spatial de la région du Grand Toronto pour l'horizon 2080 (2071-2100). **a)** Les régions où le climat récent (1971-2000) est similaire au climat projeté pour la région du Grand Toronto en 2080 (2071-2100). **b)** Les régions où le climat projeté (2071-2100) est similaire à celui de la région du Grand Toronto pour le passé récent (1971-2000). Les catégories de similitude indiquent le niveau de similarité entre le climat observé et le climat projeté pour la région à l'étude (au moyen de 136 simulations climatiques globales). Les analogues sont basés sur une comparaison statistique entre les distributions actuelles et futures de la température moyenne annuelle et des précipitations annuelles totales pour la période de référence 1971-2000 et l'horizon 2080 (2071-2100).

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure présente des analogues spatiaux pour la région du Grand Toronto (GTA) pour l'**horizon temporel** 2080 (2071-2100). Dans l'illustration de gauche, les zones en vert représentent les régions où le climat actuel ressemble au climat projeté en 2080 pour le GTA. Dans l'illustration de droite, les zones en vert représentent les régions où le climat actuel de Toronto sera en 2080.

Comment la figure est-elle construite ?

Un analogue spatial est une région (ou un ensemble de régions) où le climat historique est similaire au climat projeté d'une région à l'étude²⁰. La validité de l'analyse dépend du niveau de similitude qui est considéré.

Les techniques d'analogues utilisent une comparaison entre le climat attendu d'une région à l'étude avec le climat historique d'autres régions. La comparaison est basée sur la similitude entre les distributions de variables climatiques sur les périodes historiques et futures, qui sont calculées au moyen de différentes métriques (p. ex.²¹⁻²⁴).

Cette méthode de communication de données climatiques permet d'envisager n'importe quel nombre de variables. Par exemple, on peut simplement chercher un analogue de température pour une ville donnée; ou encore, rechercher un analogue pour la même région, qui tient compte de la température, des précipitations et des degrés-jours de croissance.

La figure ici présente des analogues pour le climat futur autour de Toronto en 2071-2100 au moyen de deux indices climatiques: les précipitations annuelles totales et la température annuelle. La **période de référence** utilisée est 1971-2000. Pour simplifier l'interprétation, les valeurs à distance médiane pour 136 **simulations CMIP3** ont été divisées en 3 niveaux de similitude, puis représentées au moyen d'un gradient de couleurs. Le niveau « élevé » de similitude représente le premier 10 % des valeurs à distance médiane; le niveau « intermédiaire » représente 10 à 20 %; et le niveau « faible » représente le 20 à 30 % suivant des valeurs. Les valeurs avec un indice de similitude plus petit (plus grand que 30 %) ne sont pas considérées comme des analogues et ne sont donc pas présentées sur la carte.

Comment la figure est-elle interprétée ?

L'illustration de gauche indique que la région où les températures et les précipitations actuelles ressemblent le plus (c.-à-d. où l'indice de similitude est le plus élevé) à ce que la région du Grand Toronto connaîtra en 2080 est relativement vaste et comprend des villes comme Detroit, Cleveland, Chicago et Pittsburgh. New York et Philadelphie affichent également un haut niveau de similitude dans les simulations.

Quant à l'emplacement en 2080 des distributions de température et de précipitations actuelles de Toronto (illustration de droite), les plus grandes similitudes sont observées le long d'un transect qui traverse une région au sud du lac Supérieur et au nord du lac Huron et qui comprend les villes de Sault Ste-Marie et de Sudbury. La région analogue s'étend au-delà de Timmins vers le nord.

Une des utilisations intéressantes de cette information est d'identifier les régions analogues sur le plan de leur capacité actuelle à s'adapter au climat. Cela permet une évaluation de la capacité de la région de référence à adopter certaines des pratiques des régions analogues pour s'adapter au changement climatique.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Un désavantage notable de cette technique est qu'il peut être difficile de trouver des analogues qui partagent les mêmes caractéristiques pour un grand nombre de variables climatiques. En fait, les analogues ne capturent que quelques aspects importants du climat, et non l'ensemble de ce dernier. Par conséquent, le choix des variables influencera les résultats. De plus, ce type d'analyse repose sur l'hypothèse que des régions ayant des similitudes sur certains aspects partagent peut-être aussi des similitudes sur d'autres aspects (comme le type de sol, la topographie et la végétation)²⁵, ce qui peut ne pas toujours être le cas. Il faut donc user de prudence lorsque l'on compare une région donnée avec ses analogues.

3.2.2 – Diagramme de dispersion

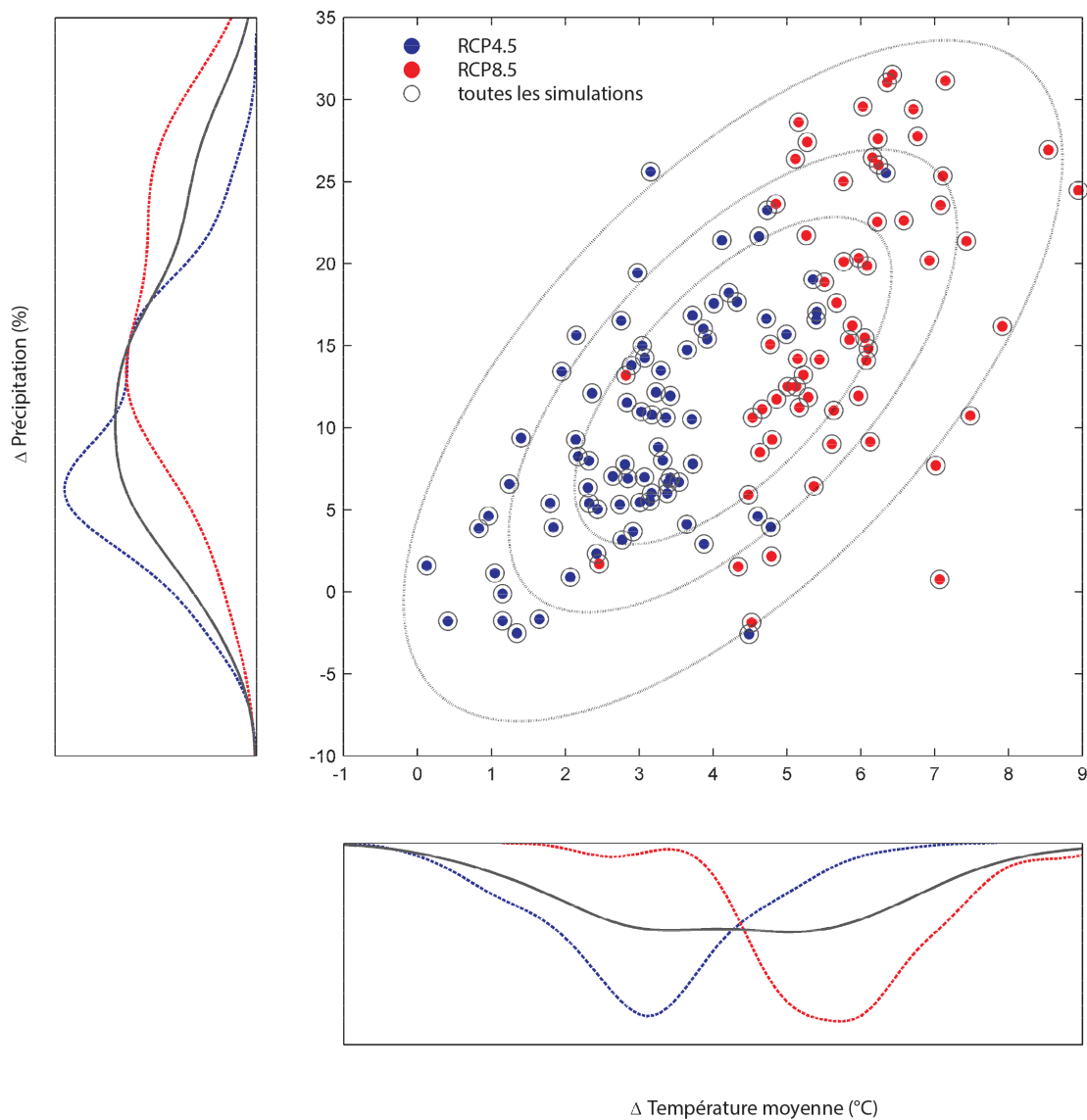


Figure 9. Changements projetés de la température moyenne (°C) et des précipitations totales (%) pour les provinces du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse durant les mois d'hiver (DJF : décembre, janvier et février). Les changements sont illustrés pour un ensemble de simulations climatiques globales selon RCP4.5 ($n = 100$, points bleus) et RCP8.5 ($n = 60$, points rouges). Les distributions associées à chaque ensemble de simulations sont montrées dans les illustrations à gauche et en bas.

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure présente les changements projetés des précipitations et températures d'hiver (DJF) pour l'horizon 2080 (2071-2100) par différentes **simulations globales** avec les **RCP 4.5** et **8.5** pour le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse.

Comment la figure est-elle construite ?

Les diagrammes de dispersion illustrent habituellement les changements projetés (deltas) de précipitations et de température, mais n'importe quelles deux variables climatiques à l'étude pourraient être utilisées, simulées par des **modèles climatiques** selon différents **scénarios d'émissions** pour une région et un horizon futur donnés. Ils offrent une vue générale des changements attendus et de la plage projetée par un ensemble de simulations. Une comparaison rapide entre ce qui est attendu selon différents scénarios d'émissions est également possible.

La figure ici montre les changements de température et de précipitations hivernales pour l'horizon 2080 par rapport à la **période de référence** 1971-2000, telle que projetée par un ensemble de simulations **CMIP5** (100 simulations avec RCP4.5 et 60 simulations avec RCP8.5). Les ellipses indiquent les intervalles de confiance à 50 %, 75 % et 95 %.

À gauche et en bas de la figure présentée ici, on trouve également les courbes de probabilités qui indiquent la densité de probabilité pour tous les scénarios (courbe en noir) et pour chaque famille RCP (courbes colorées) pour les deux variables climatiques. Notez que ces courbes ne sont pas toujours présentées avec des diagrammes de dispersion

Comment la figure est-elle interprétée ?

L'illustration principale montre une séparation nette dans les changements projetés entre les deux familles RCP. Les simulations exécutées avec RCP 8.5 montrent des changements plus marqués de température et de précipitations. Lorsque toutes les simulations sont considérées, la plage de deltas de température pour 2080 varie de 0 à 9 °C, alors que les changements dans la plage de précipitations varient de -3 à 30 %.

Les fonctions de densité, à gauche et au bas de la figure, montrent un pic dans le nombre de simulations qui comportent une augmentation des températures d'environ 3 °C pour RCP 4.5 et de 6 °C pour RCP 8.5. Quant aux changements dans les précipitations, les fonctions de densité atteignent un sommet d'environ 5 % pour RCP 4.5 et d'environ 15 % pour RCP 8.5. Les courbes montrent un bon degré de séparation, avec deux sommets distincts, entre les deux familles RCP pour la température. Par contre, les courbes de précipitations se chevauchent beaucoup.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Bien que cette figure souligne clairement qu'il peut y avoir une vaste dispersion dans les changements projetés par les différentes simulations, les causes (ou sources) de cette dispersion ne sont pas expliquées dans le graphique. Cependant, comprendre que différentes sources d'**incertitudes** (provenant de la variabilité naturelle ou de différences entre les modèles) peuvent avoir une importance relative différente selon les échelles temporelles est un complément d'information important pour les décideurs.

Le fait que les changements dans les précipitations sont exprimés en pourcentage doit aussi être considéré avec prudence, car certaines simulations peuvent exhiber de très grands changements lorsque comparés à des valeurs de référence très faibles.

Les diagrammes de dispersion sont parfois utilisés pour sélectionner manuellement un sous-ensemble de scénarios futurs, par exemple les scénarios qui présentent les plus grands changements de précipitations et de températures annuelles. Cependant, la position des scénarios individuels dans un diagramme peut être très variable d'une saison à l'autre et d'une région à l'autre. Par conséquent, le choix de scénarios au moyen d'un diagramme de dispersion à deux dimensions basé sur des changements annuels peut ne pas être approprié si l'on s'intéresse aux répercussions saisonnières.

3.2.3 – Carte des valeurs projetées

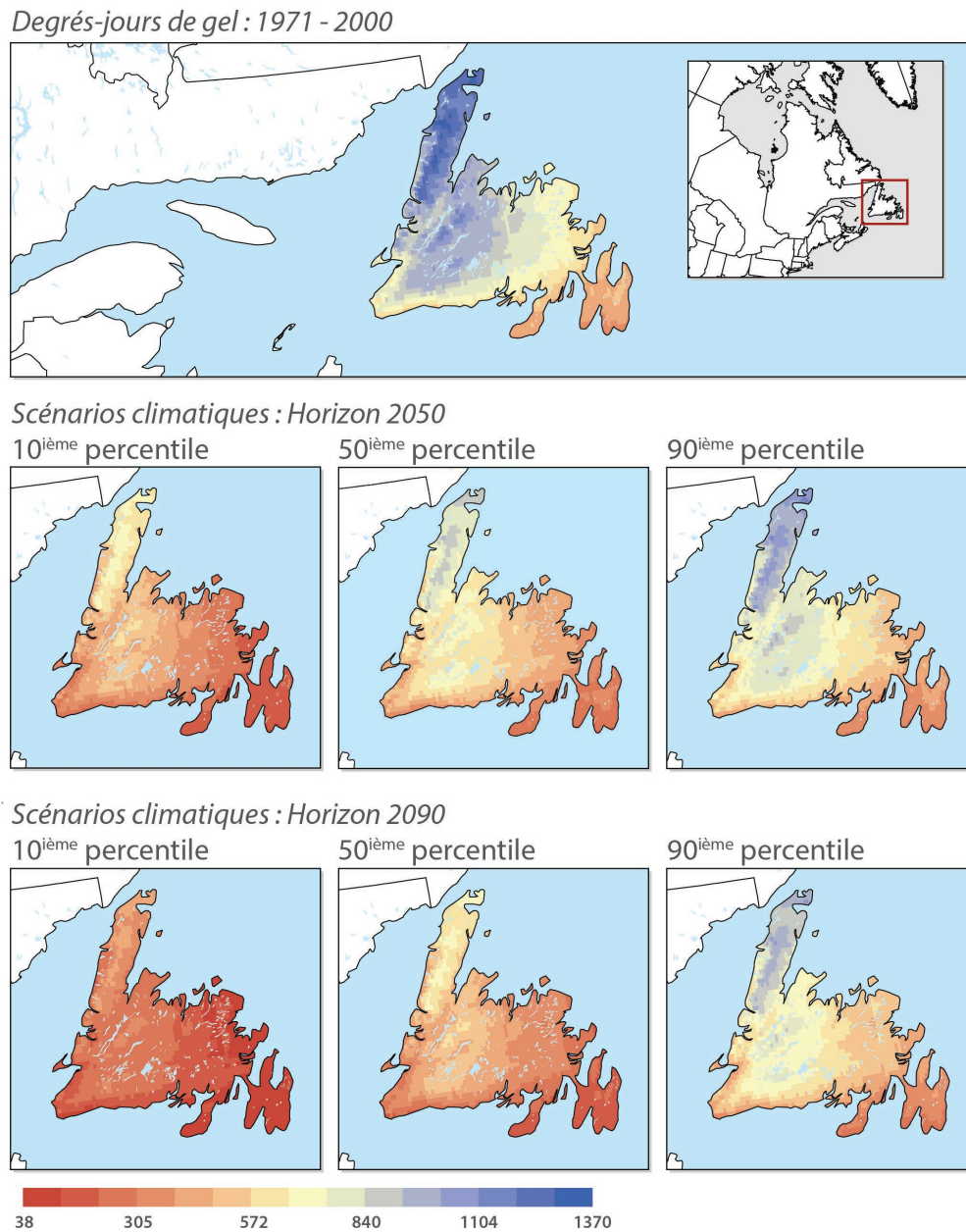


Figure 10. Normales climatiques dans le nombre de degrés-jours de gel pour la période 1971-2000 de même que les valeurs projetées pour cet indice sur les horizons 2050 (2046-2065) et 2090 (2081-2100), calculées au moyen d'un ensemble de 79 simulations. Pour les projections, les colonnes du centre représentent la médiane, alors que celles de gauche et de droite représentent les 10^e et 90^e percentiles de l'ensemble, respectivement.

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure montre les normales climatiques et les valeurs **projetées** de nombre annuel de degrés-jours de gel pour la province de Terre-Neuve-et-Labrador pour les horizons 2050 (2046-2065) et 2090 (2081-2100). Ici, les valeurs expriment des valeurs absolues futures du nombre de degrés-jours de gel et non un delta ou un changement entre deux périodes.

Les degrés-jours de gel correspondent à la différence absolue entre la température quotidienne moyenne et un seuil de 0 °C. Par exemple, si la température moyenne quotidienne est de -5 °C, le nombre de degrés-jours de gel pour cette journée est égal à 5. Si la température est au-dessus de 0 °C, le nombre de degrés-jours de gel est égal à zéro. Les valeurs annuelles sont obtenues en additionnant les valeurs de degrés-jours de gel pour toutes les journées de l'année.

Comment la figure est-elle construite ?

L'illustration du haut présente les normales climatiques pour la période 1971-2000 (voir les pages 18-19).

Tout comme pour les cartes présentées dans la catégorie d'information de base, les valeurs futures sont calculées sur un horizon futur précis. Cette valeur est calculée pour chaque polygone et pour toutes les **simulations climatiques** qui ont été choisies; et peut être calculée pour n'importe quelle période, par exemple mensuelle, saisonnière ou annuelle. La figure ci-dessus présente les valeurs projetées du nombre de degrés-jours de gel sur deux **horizons futurs**, à savoir 2050 et 2090. La plage de valeurs est représentée par le 10^e, le 50^e et le 90^e percentile.

La plus grande différence entre ces données et celles présentées dans la catégorie précédente est que ces résultats ne présentent pas de deltas ou de changements moyens pour les deux horizons, mais plutôt des valeurs *absolues* projetées du nombre de degrés-jours de gel pour les deux horizons temporels. Cela est souvent considéré comme une valeur ajoutée aux cartes des sections précédentes, qui

requiert un **post-traitement** supplémentaire des données. Les projections ont été obtenues au moyen de 79 simulations (75 de l'ensemble global CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional), pour lesquelles une **méthode de correction de biais** a été utilisée afin d'obtenir des valeurs sur une grille de 10 km.

Comment la figure est-elle interprétée ?

D'abord, les normales climatiques sont variables sur le territoire et montrent que le nombre annuel moyen de degrés-jours de gel pour la province de Terre-Neuve-et-Labrador se situe approximativement entre 300-1300 pour la période 1971-2000. Notez que ces normales proviennent de données observées, et non simulées par des modèles climatiques. Ces valeurs sont utilisées dans le processus de correction de biais pour obtenir les valeurs futures présentées dans les illustrations du bas.

Ensuite, ces cartes indiquent une diminution du nombre de degrés-jours de gel, en raison de l'accroissement des températures. Les valeurs médianes (cartes du 50^e percentile) montrent qu'il y a moins de degrés-jours de gel en 2090 qu'en 2050. Notez que les plus grandes différences de valeurs se trouvent dans les cartes du 10^e percentile.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Le fait que les cartes du 10^e percentile montrent les plus gros changements, comparés aux cartes du 90^e percentile, est important et peut prêter à confusion. En effet, le plus grand changement est habituellement représenté par les simulations du 90^e percentile. Imaginez que l'on compare les valeurs de température future avec une température annuelle moyenne de 20 °C, par exemple. On sait intuitivement que si les températures augmentent, il y aura un gradient dans les températures projetées, tel que la température 10^e percentile < température 50^e percentile < température 90^e percentile. Cependant, dans le cas des degrés-jours de gel, il y a une tendance globale décroissante et par conséquent, la carte du plus faible percentile de valeurs futures montre la plus grande diminution.

3.2.4 – Évolution des valeurs futures

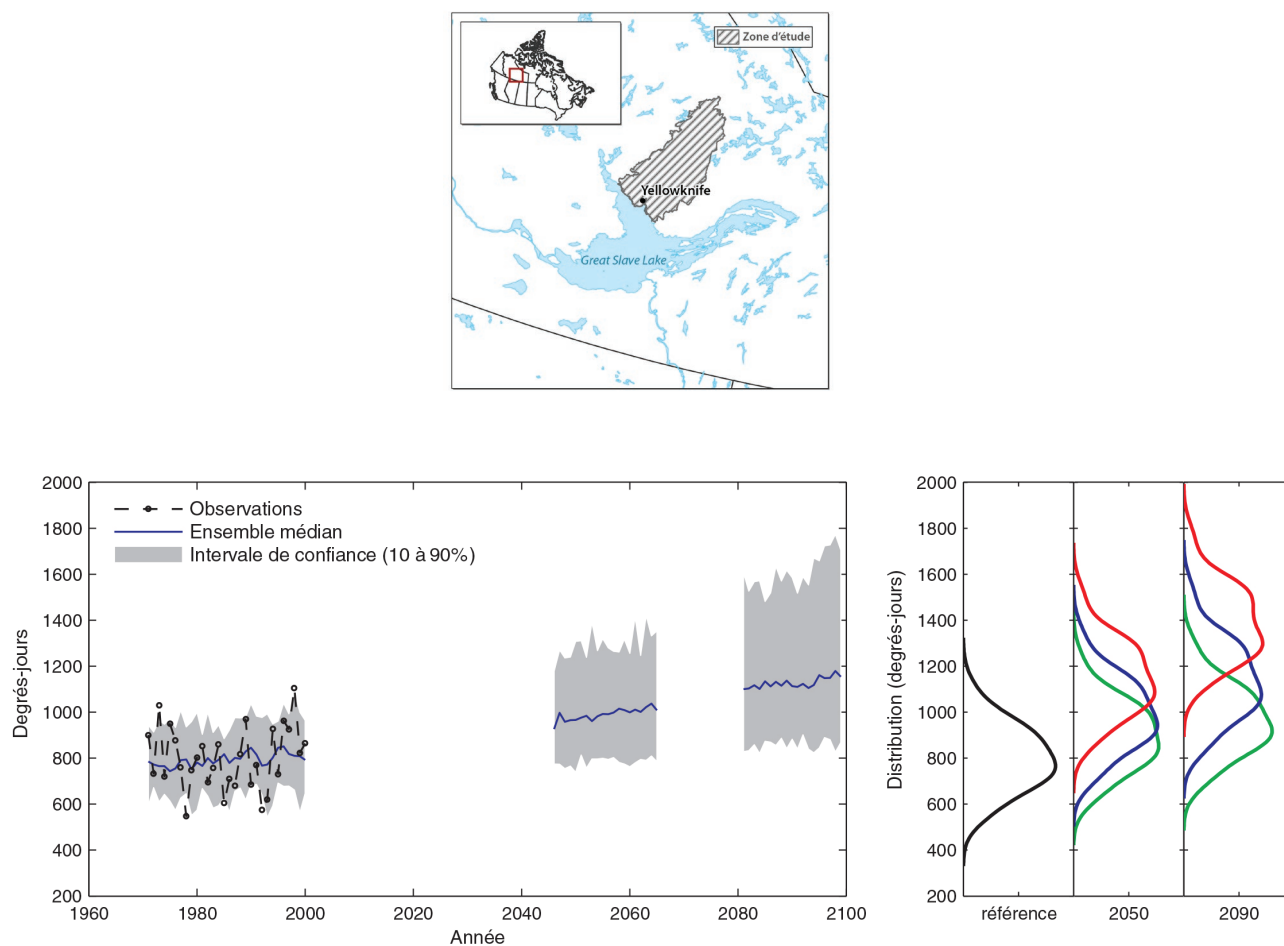


Figure 11. Gauche : Évolution du nombre annuel moyen de degrés-jours de croissance pour les années 1971-2100 pour la région du Grand lac des Esclaves. Les valeurs sont calculées au moyen d'un ensemble de 79 simulations, alors que les observations proviennent d'un ensemble de données de RNCAN¹⁶. **Droite :** Les valeurs de distribution de la moyenne régionale pour les valeurs observées (courbe en noir) et les valeurs projetées sont montrées au moyen du 10^e, du 50^e et du 90^e percentile de l'ensemble de scénarios climatiques (courbes en vert, bleu et rouge, respectivement).

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure présente l'évolution du nombre de degrés-jours de croissance annuels pour une région autour de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest, jusqu'en 2100.

Les degrés-jours de croissance correspondent à la différence absolue entre la température quotidienne moyenne et un seuil de 5 °C. Par exemple, si la température moyenne quotidienne est de 10 °C, le nombre de degrés-jours de croissance pour cette journée est égal à 5. Si la température est en dessous de 5 °C, le nombre de degrés-jours de croissance est égal à zéro. Les valeurs annuelles sont obtenues en additionnant les valeurs de degrés-jours de croissance pour toutes les journées de l'année.

Comment la figure est-elle construite ?

Ce type de figure présente l'évolution ou les valeurs **projetées** d'une variable climatique particulière pour une région à l'étude donnée. Ainsi, il ne montre pas seulement les valeurs médianes (ou moyennes) pour un horizon temporel particulier, mais également comment elles évoluent au cours des trois périodes. Au total, 79 **simulations** (75 de l'ensemble global CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional) ont été utilisées pour construire cette figure (après **post-traitement**).

L'illustration de gauche présente la moyenne des degrés-jours de croissance pour tous les points de la grille de la région à l'étude montrée dans la zone hachurée. La ligne noire indique les valeurs observées (notez la **variabilité naturelle** observée du climat sur cette période), la ligne bleue représente la médiane des simulations d'**ensemble CMIP3** et l'enveloppe grise représente l'intervalle de confiance autour de la médiane. Cette illustration utilise une méthode de **post-traitement pour la correction de biais**.

L'illustration à droite montre la distribution des 30 valeurs annuelles observées de degrés-jours de croissance pour la période de référence (ligne noire), de même que les distributions des 30 années projetées de trois scénarios climatiques individuels pour les horizons 2050 (2046-2065) et 2090 (2081-2100). Les trois scénarios représentés sont sélectionnés parmi les 79 en calculant d'abord la moyenne des deltas pour tous les scénarios pour les deux horizons temporels. Les trois scénarios individuels de chaque horizon sont ensuite choisis comme ceux qui ont les valeurs (1) de la médiane (courbe bleue), (2) du 10^e percentile (courbe verte) et (3) du 90^e percentile (courbe rouge), pour le changement projeté moyen, parmi toutes les 79 simulations pour l'horizon en question. Notez que les trois scénarios ne sont pas nécessairement les mêmes pour chaque horizon à l'étude (c.-à-d. que le scénario qui montre un changement médian en 2050 n'est probablement pas le scénario médian en 2090). Cette illustration utilise une méthode de **post-traitement de mise à l'échelle** qui permet une comparaison directe de scénarios futurs avec la distribution observée.

Comment la figure est-elle interprétée ?

L'illustration de gauche montre une augmentation projetée dans le nombre de degrés-jours de croissance entre 1971 et 2100. L'illustration de droite montre un déplacement vers le haut dans les distributions des simulations pour 2050 et 2090, particulièrement pour les distributions médianes et du 90^e percentile, ce qui indique un changement dans les conditions climatiques moyennes. Les formes des distributions ne changent pas de manière importante (lorsque comparées aux valeurs observées), ce qui indique que la variabilité interannuelle est relativement similaire entre les horizons observés et futurs.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Lorsque l'on examine l'illustration de gauche de manière isolée, on découvre que même s'il y a certainement une augmentation projetée des degrés-jours de croissance, il y a aussi un élargissement de l'enveloppe grise (**incertitude**) dans le futur. Un point important est que l'enveloppe grise contient toutes les sources d'**incertitude**, pas seulement la variabilité interannuelle. Par exemple, l'élargissement de l'enveloppe peut facilement mener un utilisateur à conclure par erreur que les simulations projettent pour l'avenir des conditions moyennes plus chaudes (centrées approximativement au milieu de l'enveloppe) et une quantité accrue de variabilité entre les années individuelles (**variabilité** interannuelle). Cependant, ce n'est pas ainsi que la figure doit être interprétée. La largeur de l'enveloppe grise pour les horizons futurs est en fait le résultat de multiples sources d'incertitude, non seulement la variabilité interannuelle pendant la période de référence, mais aussi l'incertitude entre les différentes **familles SRES** (c.-à-d. plus ou moins de GES dans l'atmosphère), de même que les incertitudes dans la sensibilité du modèle climatique (c.-à-d. à quel point les différents modèles climatiques sont sensibles à une augmentation donnée de concentrations de GES). Il est donc faux de conclure que l'enveloppe grise plus large pour les horizons futurs ne représente qu'une variabilité interannuelle accrue par rapport à ce qui est représenté par l'enveloppe grise pour la période de référence.

Pour mieux déterminer s'il y a effectivement une augmentation dans la variabilité interannuelle (fluctuations accrues d'une année à l'autre), nous devons examiner l'illustration de droite. Une comparaison entre les distributions futures colorées et la distribution observée permet de faire ressortir que la forme de la distribution ne change en fait pas beaucoup dans le futur (largeurs et queues similaires, etc.); et ce qui est projeté est en fait un simple déplacement vers le haut de la distribution dans le futur, avec une séparation accrue entre les courbes verte, bleue et rouge entre 2050 et 2080. En consultant à nouveau l'illustration de gauche, une conclusion s'impose plus facilement. Dans ce cas, le changement de largeur de l'enveloppe grise est dû à cette séparation accrue entre les scénarios climatiques individuels (causée par des différences dans la sensibilité des modèles climatiques et les émissions) et non à une variabilité interannuelle plus élevée.

3.2.5 – Fonction de distribution cumulative

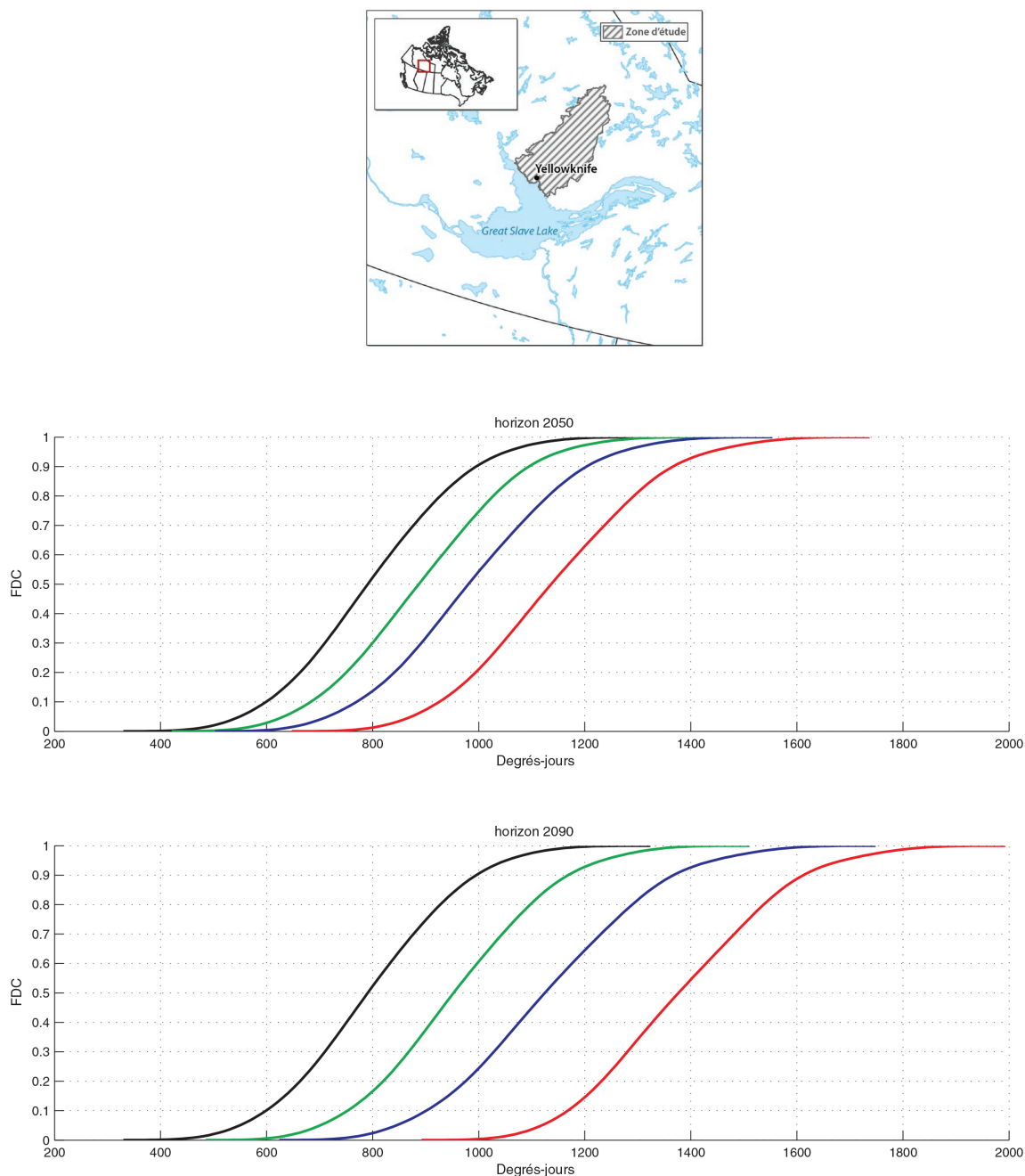


Figure 12. Fonction de distribution cumulative (FDC) du nombre annuel moyen régional de degrés-jours de croissance pour la période de référence (1971-2000) et les deux horizons futurs (2050 et 2090) pour la région du Grand lac des Esclaves. Les valeurs sont calculées au moyen d'un ensemble de 79 simulations, alors que les observations proviennent d'un ensemble de données de RNCAN¹⁶. Sont illustrées les valeurs observées (courbe en noir) et les valeurs projetées pour les 10^e, 50^e et 90^e percentiles de l'ensemble des scénarios climatiques (courbes en vert, bleu et rouge).

Source: T. Logan, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure présente les fonctions de distribution cumulative (FDC) du nombre projeté de degrés-jours de croissance pour la **période de référence** et pour les **horizons futurs** 2050 (en haut) et 2090 (en bas) pour la région de Yellowknife.

Comment la figure est-elle construite ?

La figure présente la même information que les courbes de distribution de la figure d'évolution précédente (p. 36, illustration de droite) mais illustrée d'une manière différente. Les courbes cumulatives montrent la proportion des années (axe vertical) qui ont des valeurs inférieures ou égales à une valeur donnée de degrés-jours de croissance (axe horizontal).

Comment la figure est-elle interprétée ?

Ce format de présentation facilite la comparaison entre les différentes distributions de percentiles des changements projetés et observés, de même qu'une évaluation des changements dans les seuils. Par exemple, sur la figure pour 2050, une année avec un nombre moyen de degrés-jours de croissance d'environ 800, ce qui est une occurrence assez fréquente dans les observations (ligne noire), devrait se produire (selon les projections) dans moins de 5 % du

temps, selon le scénario médian futur. Sur l'horizon 2090, la proportion des valeurs projetées qui seront inférieures ou égales à 800 est seulement de 0,18 pour le scénario du 10^e percentile (ligne verte). Par contre, le scénario du 90^e percentile (ligne rouge) souligne le fait qu'il y aura une proportion accrue d'années avec un nombre plus élevé de degrés-jours de croissance.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de la figure ?

Les utilisateurs doivent garder à l'esprit que les valeurs de proportion présentées dans cette figure ne représentent pas une *probabilité* d'occurrence. L'**incertitude** dans les **simulations**, représentée ici par les lignes colorées, demeure importante. Plus de poids ou d'importance ne peuvent pas être accordés à une courbe plutôt qu'une autre.

Enfin, il peut être assez difficile de visualiser ce que l'information présentée dans ce type de figure représente réellement pour une région donnée. En fait, ce type de graphique est rarement présenté seul, mais est plutôt souvent accompagné d'une carte (sur laquelle les différences dans la région à l'étude sont mieux représentées) ou une figure de l'évolution (dans laquelle les changements moyens dans toute la région à l'étude sont plus évidents).



3.2.6 Études de cas utilisant de l'information climatique intermédiaire

Titre du projet : Études de cas pour faciliter une gestion efficace des ennemis des cultures dans le contexte de l'augmentation des risques phytosanitaires liés aux changements climatiques.

Région : Sud du Québec

Information climatique utilisée : Analogues spatiaux

Résumé et application : Les chercheurs impliqués dans ce projet désiraient explorer les risques potentiels de certains organismes nuisibles aux cultures par une évaluation de régions analogues²⁶. Plus particulièrement, l'objectif était de découvrir des analogues spatiaux plus au sud, aux États-Unis, qui correspondaient à différentes régions administratives du Québec, afin d'examiner quels organismes nuisibles étaient déjà présents dans les régions analogues et quelles mesures d'adaptation avaient été prises pour combattre les problèmes qui s'y rattachent. Les analogues étaient basés sur la longueur de la saison de croissance, les degrés-jours de croissance et les précipitations pendant la période de croissance.

Deux principaux ennemis des cultures ont été étudiés. Le premier était la fusariose de l'épi (*F. graminearum*), une maladie du blé qui rend la céréale impropre à la consommation animale et humaine. Cette maladie connaît une croissance dans le sud du Canada et a causé des pertes économiques importantes dans un grand nombre de régions²⁷. Dans le cas de cette maladie, on a découvert que la Pennsylvanie constitue un bon analogue climatique pour la région du Bas-Saint-Laurent en 2050. En fonction de cette information, les chercheurs peuvent commencer à explorer des mesures d'adaptation adoptées par l'État de la Pennsylvanie, comme l'utilisation de différentes variétés qui connaissent une maturation à différents moments de l'été, afin de combattre ce problème potentiel dans le Bas-Saint-Laurent. Le second problème était la pyrale du maïs (*O. nubilalis*), un insecte qui cause des dommages importants aux espèces à cultiver de maïs sucré destinées à la consommation humaine. Dans le cas de cet insecte, on a découvert que le climat dans la Montérégie pourrait devenir plus similaire au climat récent de l'Illinois, où l'insecte a un taux de croissance plus rapide qu'au Québec et où il représente l'un des problèmes les plus importants touchant le maïs sucré¹⁶.

Les résultats de ce projet ont permis d'amorcer une révision des normes et des stratégies de surveillance au Québec. Le projet a fait l'objet d'un article dans un journal local de Montréal (La Presse, Allard, 10 juin 2013), qui sert à illustrer à quel point l'analogie est un outil intéressant pour communiquer les défis liés au changement climatique.

Site Web :

Un exemplaire en français du rapport se trouve à l'adresse <http://www.ouranos.ca/fr/publications>

Titre du projet : Plan d'adaptation au changement climatique : leçons retenues d'un atelier communautaire.

Région : Ville de Prince-George, Colombie-Britannique

Information climatique utilisée : Normales climatiques, évolution des valeurs futures et tendances, graphiques et cartes de changements projetés.

Résumé et application : Le but de ce projet était de fournir et d'analyser les tendances historiques et les changements projetés de l'hydro-climatologie de la région de Prince George. Cette information produite par le Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) se voulait un outil pour informer le public, les acteurs municipaux, les gestionnaires et les chercheurs des risques, vulnérabilités et opportunités potentiels liés au changement climatique²⁸.

La municipalité a reçu de l'information sur les normales et tendances historiques, ainsi que sur les projections futures pour les températures et les précipitations. Ces données ont permis, en premier lieu, une analyse de la grande variabilité naturelle qui caractérise la région, causée en partie par les effets des phénomènes El Niño, oscillation australe et de l'oscillation décennale du Pacifique. L'ampleur des changements projetés pouvait, par la suite, être comparée avec cette variabilité. Les résultats ont informés la municipalité que d'importants changements de la température et des précipitations étaient à prévoir, ce qui aurait probablement de grands impacts sur plusieurs facteurs, tels que le risque d'inondation, les feux de forêts, l'approvisionnement en eau et les infrastructures des transports, pour en nommer quelques uns.

Cette information a été présentée à Prince George lors d'ateliers, ce qui a permis aux acteurs concernés de visualiser l'information, de la digérer mais, surtout, de pouvoir adresser des questions directement aux chercheurs climatiques qui avaient produit l'information²⁹. À partir de cette information, ils pouvaient ensuite discuter d'impacts spécifiques et explorer des mesures d'adaptation pour la municipalité.

L'aboutissement de ces exercices fut le développement d'une stratégie d'adaptation pour la ville de Prince George, dans lequel les priorités d'adaptation y sont identifiées en plus de mesures d'actions potentielles afin d'y remédier. Des ateliers et des discussions entre les acteurs municipaux et les chercheurs auront aussi permis d'identifier d'autres types d'information climatique et analyses qui sont nécessaires afin d'améliorer la gestion de la ville, notamment en termes d'infrastructures et de mesures d'urgence.

Site Web :

<http://www.pacificclimate.org/sites/default/files/publications/Werner.ClimateChangePrinceGeorge.Aug2009.pdf>
Pour une copie de l'article scientifique : DOI: 10.1016/j.envsci.2011.12.011

CATÉGORIE DÉTAILLÉE



3.3 INFORMATION DÉTAILLÉE

De manière similaire à la catégorie intermédiaire, l'information climatique dans cette dernière catégorie se concentre sur les changements climatiques projetés. Cependant, l'analyse cible non seulement les changements moyens d'une variable climatique en fonction du temps, mais estime aussi les changements dans les événements extrêmes et d'indices climatiques pour lesquels la confiance dans les projections de modèles est plus faible.

L'information donnée aux utilisateurs dans cette catégorie est personnalisée pour répondre à des besoins très spécifiques et ne sera souvent que peu pertinente ou utilisable par d'autres.

Les exemples donnés pour illustrer le type d'information disponible dans cette catégorie forment quatre groupes. Du format le plus simple au plus complexe :

1. Format particulier : utilisé pour présenter des valeurs ou changements futurs au moyen d'un format personnalisé précisément pour l'utilisateur
2. Séries temporelles : utilisées pour fournir des données climatiques (p. ex. sorties de modèles climatiques) qui sont ensuite utilisées dans des modèles d'impact
 - a. Hydrologie
 - b. Production de sirop d'érable
3. Analyse des extrêmes : utilisée pour présenter les valeurs projetées d'une variable climatique
 - a. Courbes d'intensité/durée/fréquence
 - b. Extrêmes de température
4. Analyse d'événements et d'indices climatiques de faible confiance
 - a. Scénarios synthétiques : utilisés pour évaluer les changements dans l'étendue d'une zone d'inondation
 - b. Scénarios de modèles climatiques : utilisés pour évaluer les changements dans les événements de tempête cyclonique

3.3.1 – Format particulier « sur mesure »

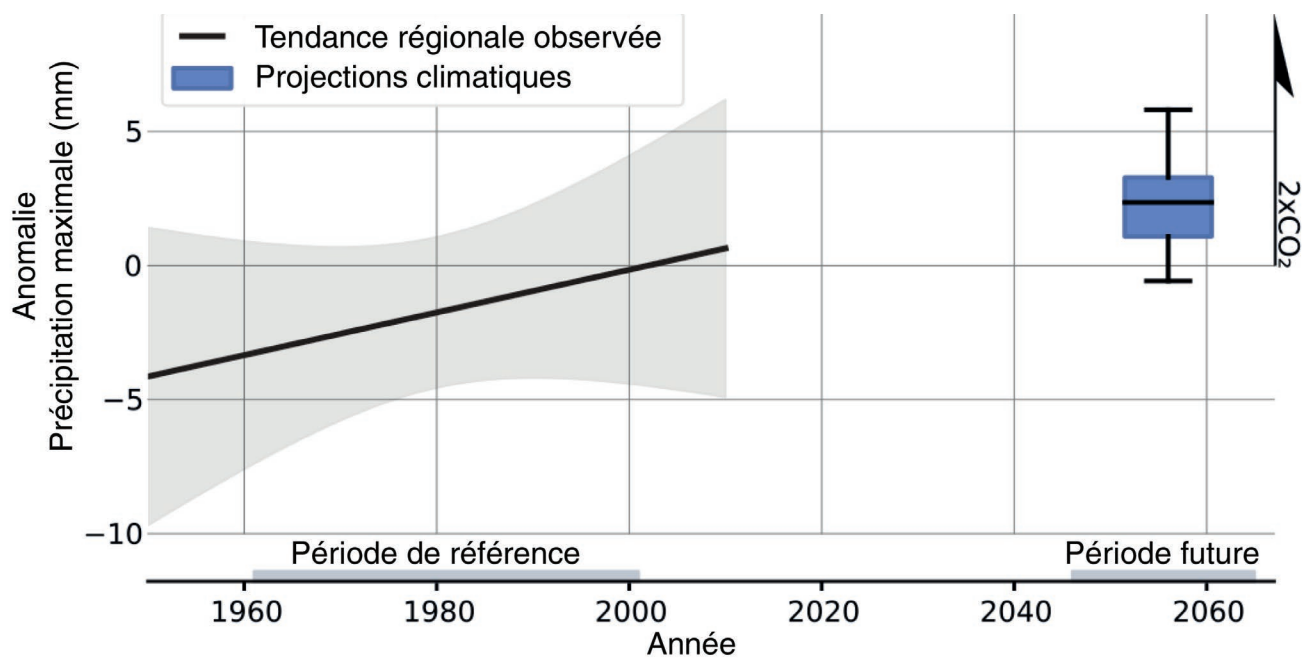


Figure 13. Tendence historique de 1950 à 2011, avec un diagramme en boîte à moustaches (boxplot) des changements projetés dans les précipitations quotidiennes maximales (mm) pour la région du Saguenay. Toutes les valeurs sont présentées comme des anomalies, à savoir la différence avec la moyenne pour la période de référence 1961-2001.

Source: http://scenarios.ouranos.ca/fiches_infrastructures/

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure illustre les précipitations maximales sur 24 heures pour la période 1950-2011, avec les changements **projetés** sur l'**horizon temporel** 2050 (2041-2070) pour la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean au Québec.

Ce format a été créé pour un utilisateur particulier, à savoir les ingénieurs, et sert à illustrer comment l'information climatique peut être personnalisée pour répondre aux préférences des usagers.

Comment la figure est-elle construite ?

Les changements projetés sont présentés en tant qu'anomalies, à savoir la différence (à partir d'une même simulation) entre une valeur simulée pour une année donnée, par rapport à la moyenne durant la période de référence simulée (1961-2001). La moyenne de ces valeurs est ensuite calculée pour la région à l'étude.

Les valeurs historiques à gauche sont obtenues en utilisant les données des stations météorologiques d'Environnement Canada. La moyenne des valeurs de toutes les stations au sein de la région à l'étude a été calculée afin d'estimer les valeurs régionales moyennes de précipitations maximales. La ligne noire qui indique la tendance illustre une régression linéaire des valeurs annuelles, alors que l'enveloppe grise représente l'intervalle de confiance à 95 %.

Le diagramme à droite montre le changement estimé à partir d'un **ensemble de simulations** CMIP3 (106 simulations, **3 scénarios d'émissions SRES**) calculé au moyen d'un delta ou d'une méthode de champ de changement. La ligne noire indique la médiane de tous les modèles, alors que la boîte couvre les 25^e et 75^e percentiles. Les lignes d'extrémité (moustaches) représentent la dispersion, ou l'**incertitude**, de l'ensemble des modèles.

Comment la figure est-elle interprétée ?

La droite de régression à gauche montre que pour la période 1950-2010, la quantité de précipitations quotidienne maximale s'est accrue pour la région à l'étude.

Le diagramme en boîte à moustaches indique que sur l'horizon temporel 2050, une augmentation de la médiane d'environ 2,5 mm dans les précipitations quotidiennes maximales est projetée par les simulations. La dispersion dans les anomalies projetées est causée par les différences entre les modèles, les trois scénarios d'émissions qui ont été utilisés et la **variabilité naturelle** du système climatique.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

La variabilité naturelle est partiellement masquée dans l'enveloppe grise, c.-à-d. que les hausses et baisses annuelles ne sont pas représentées. Les utilisateurs qui ont demandé ce format comprenaient l'importance de la variabilité et n'avaient donc pas besoin qu'elle soit explicitement soulignée dans la figure. Cependant, cela peut ne pas être le cas pour d'autres utilisateurs potentiels.

3.3.2 – Séries temporelles

Deux exemples sont montrés ici pour illustrer l'utilisation de données de sortie de modèles climatiques dans ce qu'on appelle un modèle d'impact. De manière simplifiée, les modèles d'impact sont des modèles dans lesquels il existe une relation connue et quantifiable entre un ou plusieurs indices climatiques et une variable à l'étude.

Dans ce type de cas, les données de sortie fournies peuvent ne pas être intrinsèquement complexes, c'est-à-dire que les variables climatiques fournies peuvent être aussi simples que les valeurs de précipitations ou de température quotidiennes. Cependant, la quantité de données fournies à l'utilisateur est habituellement importante et demandera un certain niveau d'expertise de sa part. Imaginons par exemple que les données fournies sont des données sur

grille de température quotidienne (365 jours) pour la période de référence (30 ans) et un seul horizon futur (d'également 30 ans) au moyen de 20 simulations. Cela implique que cet ensemble de données serait représenté par une feuille de calcul dans laquelle, pour chaque polygone de la grille, on retrouverait un total de 438 000 valeurs (365 jours * 60 années * 20 simulations). Également, si la résolution de la grille est de 45 km sur 45 km (la résolution approximative des modèles climatiques régionaux) et que les données sont fournies pour tout le Canada, cela représente environ 5 500 polygones de grille, chacun comportant 438 000 valeurs de température. Étant donné que ces chiffres sont pour le cas simple d'une seule variable climatique, il est facile de comprendre que les utilisateurs doivent être à l'aise avec la manipulation de grands ensembles de données afin de pouvoir les gérer et les utiliser.

3.3.2.1 Secteur à l'étude : Hydrologie

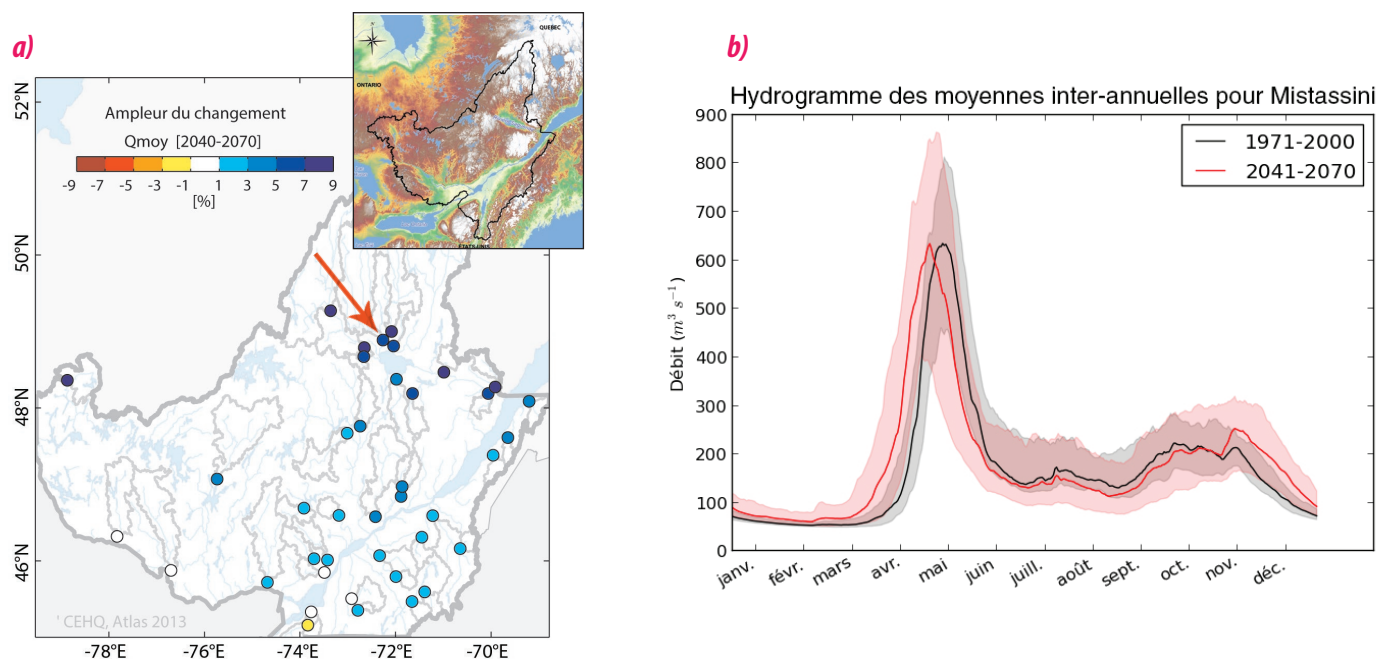


Figure 14: **a)** Changement projeté dans le débit annuel moyen (Qmoy) pour la période 2041-2070 comparé à la période de référence 1971-2000, au moyen d'un ensemble de 89 simulations. **b)** Hydrogramme annuel moyen pour les périodes de référence et future pour l'un des sous-bassins hydrographiques indiqué par la flèche rouge dans l'illustration de gauche.

Source: a) Centre d'expertise hydrique du Québec (2013), b) B. Gauvin- St-Denis, Ouranos

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

Cette figure montre les changements **projetés** dans les valeurs de débits annuels moyens pour l'**horizon temporel** 2050, pour un petit bassin hydrographique au Québec (à gauche), de même qu'un hydrogramme annuel moyen pour un sous-bassin hydrographique (flèche rouge, à droite).

Comment les figures sont-elles construites ?

L'illustration de gauche montre les changements dans les valeurs de débit annuel pour l'horizon 2050 (2041-2070). Les données de sortie de modèle climatique fournies pour produire cette figure sont relativement simples et sont composées des valeurs de précipitations annuelles totales et des températures quotidiennes maximales et minimales, tant pour la **période de référence** (1971-2000) que pour l'horizon temporel futur 2050. Ces trois variables climatiques sont ensuite importées dans un modèle hydrologique qui a calculé les valeurs de débit quotidiennes pour les deux périodes, ainsi que les changements entre ces deux périodes. Cette analyse a utilisé au total 89 **simulations CMIP3** de même que 5 méthodes différentes de **post-traitement de correction de biais** et le modèle hydrologique, afin de générer 445 scénarios de changement climatique. Ces résultats de scénarios ont ensuite été utilisés pour calculer l'amplitude du changement moyen de débit, représenté dans l'illustration de gauche.

Les 445 scénarios climatiques sont aussi utilisés pour produire l'hydrogramme annuel moyen dans l'illustration de droite. Les lignes pleines représentent une moyenne quotidienne sur 30 ans (soit pour la période de référence en noir, soit pour la période future en rouge) alors que les enveloppes représentent les 10^e et 90^e percentiles pour chaque période.

Comment la figure est-elle interprétée ?

L'illustration de gauche montre un gradient sud-nord en matière de changements projetés dans le débit annuel, avec peu de changements au sud et une augmentation de l'ordre de 7 à 9 % dans la partie nord de la région à l'étude. L'hydrogramme annuel moyen correspondant (à droite) pour l'un des sous-bassins montre des changements dans la périodicité du débit à cet endroit. D'une part, la figure montre un déplacement projeté dans le débit maximal au printemps, avec un pic plus tôt en 2041-2070 que durant la période de référence. D'autre part, les valeurs de débit sont plus faibles durant les mois d'été et d'automne en 2041-2070, alors qu'elles sont plus élevées durant les mois d'hiver.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

L'information fournie dans le changement en pourcentage de débit peut ne pas être suffisamment détaillée. En effet, l'analyse requise pour produire ce type de figure est complexe et engendre un très grand nombre de scénarios. Présenter le changement moyen de tous les scénarios peut être considéré comme un avantage car avoir une seule valeur est souvent plus simple à comprendre. Cependant, l'**incertitude** associée à l'**ensemble** est également très grande, avec des scénarios qui exhibent souvent des tendances opposées; mais cela n'est pas représenté dans la figure. Étant donné que nos connaissances actuelles ne nous permettent de rejeter aucun des **scénarios**, cette incertitude ne devrait pas être ignorée.

Le fait que les changements sont exprimés en pourcentage doit aussi être considéré avec prudence, car certains scénarios peuvent exhiber de très grands changements, lorsque comparés à des valeurs de débit de référence très faibles (de grands changements relatifs mais de petits changements absolus).

3.3.2.2 Secteur à l'étude : Production de sirop d'érable

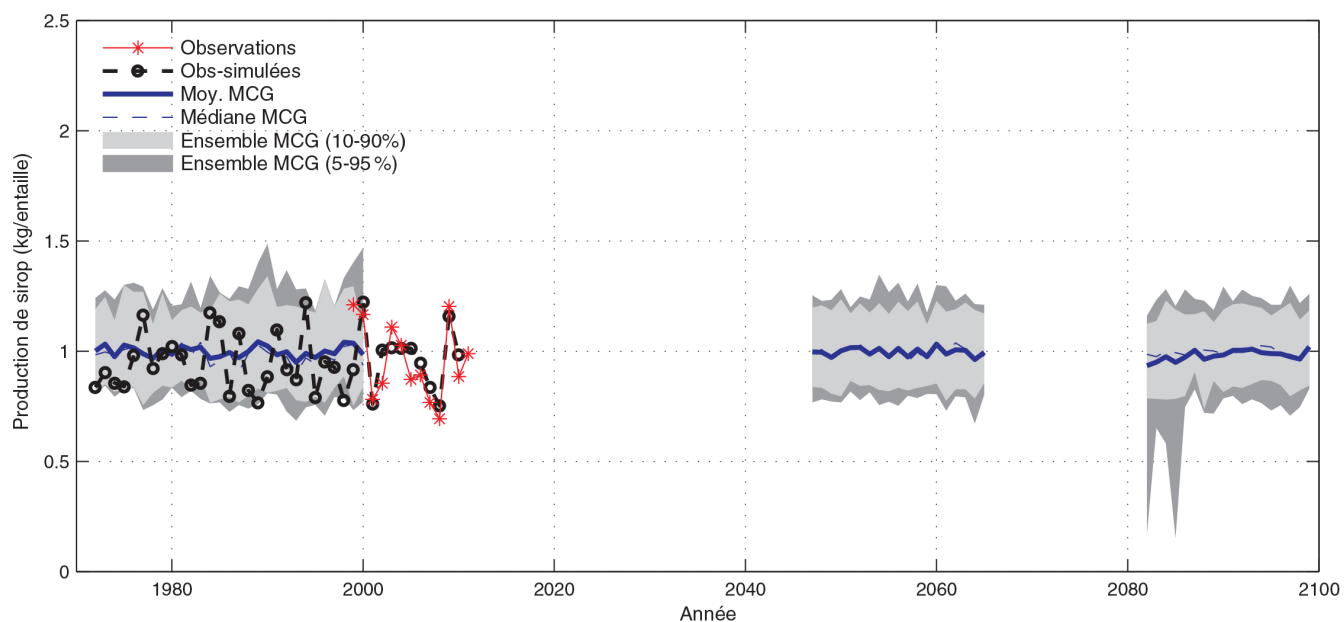


Figure 15. Évolution de la production de sirop d'érable dans la région de la Beauce (au Québec) pour la période 1971-2100. Les observations sont indiquées en rouge, les valeurs simulées pour la période de référence (1971-2000) sont montrées en noir et les valeurs moyennes de l'ensemble de simulations sont représentées en bleu pour les horizons futurs 2050 (2041-2070) et 2090 (2081-2100). Les enveloppes grises délimitent les intervalles de confiance : 10-90^e et 5-95^e.

Source: T. Logan, Ouranos³⁰

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

Cette figure présente les changements **projetés** dans la production de sirop d'érable pour les **horizons temporels** 2050 et 2090 pour la région de la Beauce au Québec, comparés à la **période de référence** 1971-2000. Les valeurs de production observées sont également indiquées pour la période 1999-2011.

Comment les figures sont-elles construites ?

La figure montre les scénarios construits à partir de 77 **simulations climatiques** globales (ensemble CMIP3) pour la période de référence (1971-2000) et pour deux horizons futurs (2050 et 2090). Les données climatiques utilisées en entrée dans ce cas étaient beaucoup plus complexes, et comprenaient plus d'une douzaine de variables climatiques, comme la différence moyenne entre les précipitations et l'évapotranspiration pour les mois de mai à octobre, le nombre d'événements de gel-dégel (avec un seuil de -3 °C), la somme hebdomadaire de degrés-jours de croissance, la valeur maximale du nombre de jours consécutifs sans précipitations pour les mois de juin à août, et de nombreuses autres variables.

Comment la figure est-elle interprétée ?

La figure montre l'importante de **variabilité naturelle** annuelle dans la production de sirop d'érable dans la région de la Beauce, qui est capturée par les données simulées sur la période de référence. Pour les deux horizons 2050 et 2080, peu de changement est projeté dans la production médiane. Cependant, la plage dans les scénarios (représentée par les enveloppes grises) montre que certaines simulations projettent des années avec presque aucune production (enveloppe du 5^e percentile). Ces enveloppes montrent également très peu de changement dans la production maximale dans cette région (90^e et 95^e percentiles supérieurs).

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

Une des plus grandes difficultés avec ce type d'information est qu'elle exige une capacité de gérer des ensembles très vastes de données. De plus, elle requiert une bonne compréhension du système à l'étude, afin qu'un modèle d'impact puisse être utilisé. Souvent, une collaboration étroite entre l'utilisateur et le fournisseur de services climatiques doit être établie afin qu'une telle compréhension soit développée. Cette étude sur le sirop d'érable est un bon exemple d'une telle collaboration : La recherche et le développement constituaient un aspect important du projet, car le modèle d'impact pour modéliser la production de sirop devait d'abord être développé avec les contributions tant du fournisseur de services climatiques que du chercheur³⁰. Un grand nombre de variables climatiques ont été explorées durant les premières étapes du projet afin de développer un modèle d'impact. Ce modèle a été validé au moyen de données de coulée de sève, puis utilisé par la suite avec des scénarios climatiques, basés sur les variables climatiques choisies, afin de projeter des changements dans la production de sirop. Étant donnée la spécificité de l'information utilisée pour une région, il faut demeurer prudent dans l'extrapolation des changements projetés à d'autres régions.

3.3.3 – Analyse des extrêmes (variable complexe)

3.3.3.1 Exemple 1 – Courbes IDF

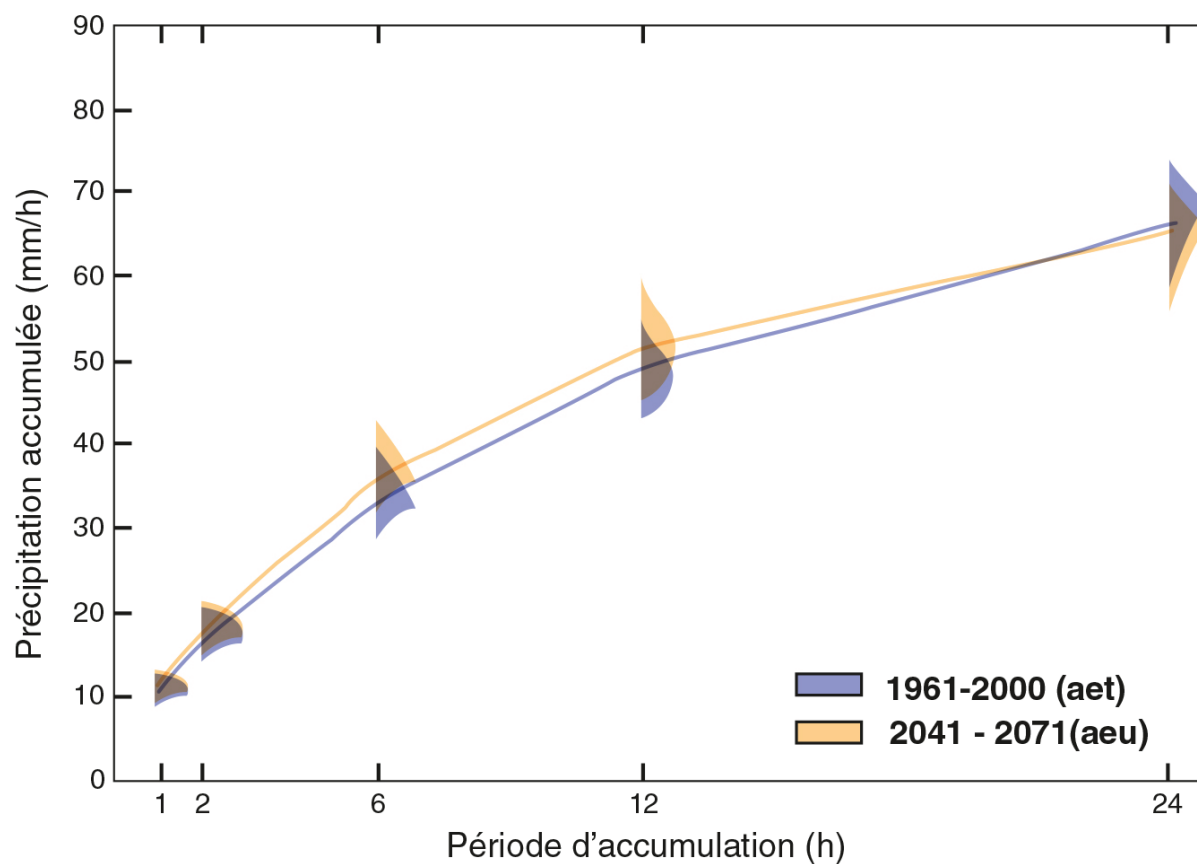


Figure 16. Courbes d'intensité/durée/fréquence pour la vallée du Saint-Laurent simulées pour le climat actuel (aet) et futur (aeu) par le MRCC au moyen d'un modèle climatique global MCG3#4. Les lignes indiquent l'intensité des précipitations avec une période de retour de 25 ans. Les distributions montrent les intensités moyennes dans la région pour les périodes d'accumulation données.

Source: Michaud et al. 2013³¹

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

Cette figure présente les courbes d'intensité/durée/fréquence (IDF) pour la **période de référence** (1961-2000) et l'**horizon temporel** 2050 (2041-2070) pour la vallée du Saint-Laurent, avec une période de retour de 25 ans.

Comment la figure est-elle construite ?

Une courbe d'intensité/durée/fréquence est une représentation graphique de la probabilité qu'une intensité moyenne de précipitation donnée se produise. De telles courbes sont d'une importance considérable pour les ingénieurs et autres utilisateurs qui doivent concevoir des infrastructures municipales pour gérer les précipitations.

La figure montre l'intensité des précipitations (mm/h) sur l'axe des y, la durée des précipitations (h) sur l'axe des x, et la fréquence des précipitations (le nombre de fois que les précipitations surviennent) indiquée par les lignes colorées. Dans cette figure particulière, les lignes représentent les précipitations sur 25 ans ou les précipitations qui ont une probabilité de se produire tous les 25 ans.

La ligne en bleu montre les conditions actuelles (1961-2000), alors que la ligne en jaune représente le changement projeté dans les hauteurs de pluie (accumulation) pour cinq durées : 1, 2, 6, 12 et 24 heures. Les deux valeurs sont calculées au moyen de deux simulations du Modèle régional canadien du climat (MRCC 4.2.3 piloté avec le modèle global MCG3#4). La figure montre également les distributions des valeurs projetées et de référence.

Comment la figure est-elle interprétée ?

La simulation projette une légère hausse de la quantité de pluie accumulée pour les événements qui ont une période de retour de 25 ans, particulièrement pour les précipitations de 6 et de 12 heures. Les courbes en cloche montrent également une large plage autour de la moyenne, tant pour la période de référence que la période future, particulièrement pour les périodes de pluie plus longues.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

On doit garder à l'esprit que la dispersion dans la distribution dans ce cas particulier représente les valeurs pour la région à l'étude (la moyenne de plusieurs points de grille), et non la plage (l'**incertitude**) d'un **ensemble de simulations** car une seule simulation est utilisée ici pour estimer les valeurs projetées. Il s'agit d'une limite importante pour les décideurs, car aucun autre moyen ne permet d'évaluer comment cette simulation se compare aux autres. Par conséquent, il n'est pas recommandé de se fier uniquement à une simulation.

3.3.3.2 Exemple 2. Analyse des extrêmes de température (dans le passé récent ou dans les projections)

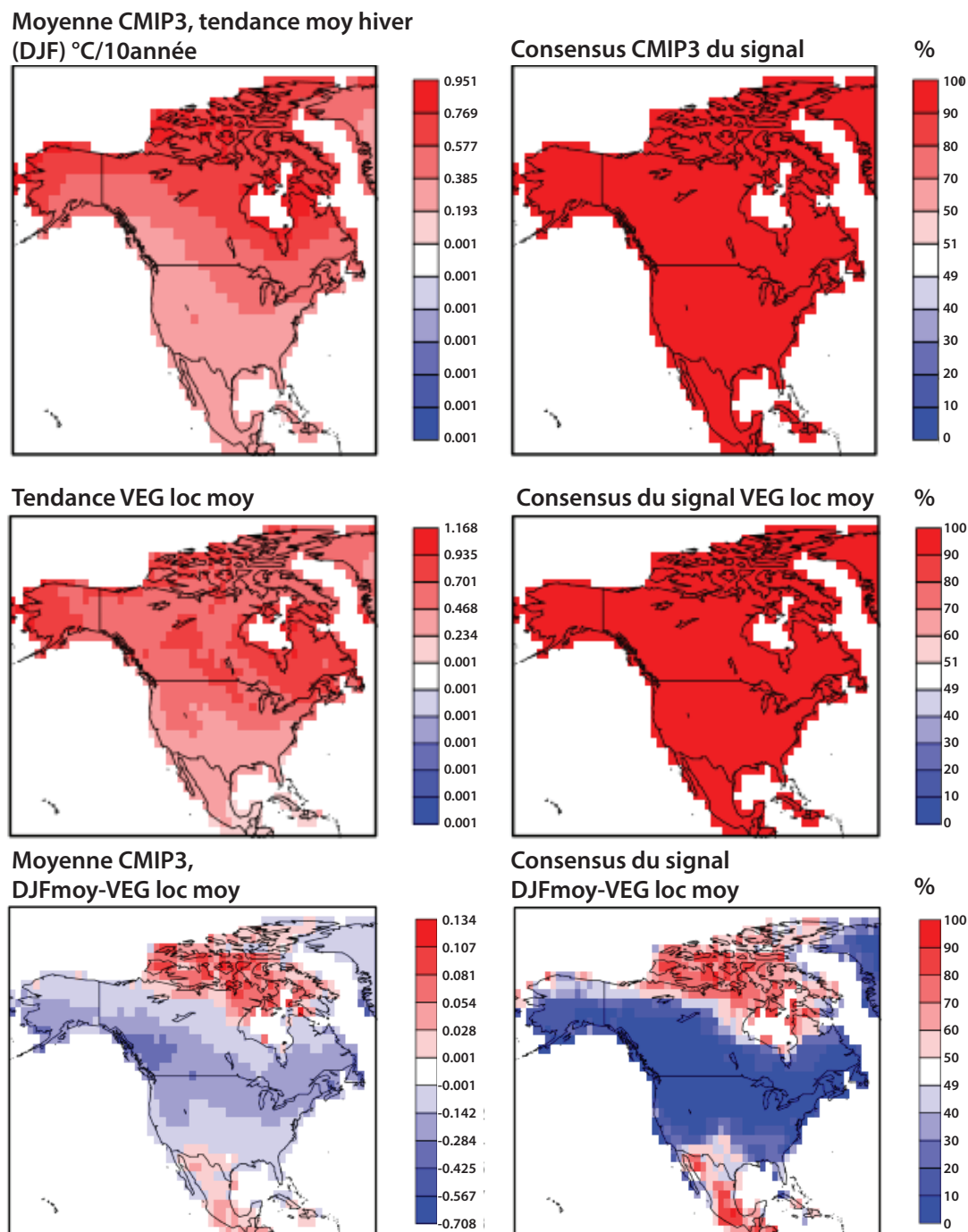


Figure 17. Carte des tendances nord-américaines pour les températures moyennes d'hiver (DJF moy, en haut à gauche), les températures extrêmes hivernales (VEG loc moy, au centre à gauche) et leur différence (en bas à gauche). La colonne de droite représente le consensus (voir le texte) au sein de l'ensemble de modèles CMIP3 utilisé dans cette étude. Les tendances sont calculées entre la période de référence 1961-1980 et l'horizon futur 2081-2100.

Source: Braun et al. 2013³²

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

La figure montre les tendances dans les températures moyennes d'hiver (décembre, janvier et février; illustration du haut), les températures extrêmes hivernales (illustration du centre) et leur différence (illustration du bas), au moyen de 17 **modèles CMIP3** en vertu de 3 **scénarios SRES** pour un **ensemble** de 86 **simulations**. L'illustration de droite montre le consensus (en %) de l'ensemble, c'est-à-dire le pourcentage des membres de l'ensemble qui «s'entendent» sur le signe du changement projeté.

Comment la figure est-elle construite ?

L'évaluation a été effectuée au moyen de la théorie des valeurs extrêmes (TVE), dans laquelle les propriétés des extrêmes sont décrites à l'aide d'une distribution de valeur extrême généralisée (VEG; p. ex. ^{33,34}). Notez qu'il s'agit de l'une des nombreuses méthodes statistiques utilisées pour analyser les extrêmes (voir aussi ^{35,36} par exemple). La distribution de VEG est caractérisée par trois paramètres : (1) le paramètre d'emplacement (*loc*), qui indique la valeur extrême typique; (2) le paramètre d'échelle (*scf*), qui décrit la dispersion de la distribution de VEG, c.-à-d. la variabilité (interannuelle) parmi les valeurs extrêmes; et (3) le paramètre de forme (*shp*), qui définit le type de distribution de VEG. Dans cette figure, le comportement de l'extrême de température est analysé au moyen du paramètre d'emplacement de VEG et comparé aux températures moyennes. Ces paramètres sont calculés pour chaque point de la grille et pour chaque simulation. La moyenne des valeurs a été calculée et indiquée sur une grille commune. La tendance linéaire pour le paramètre a été estimée au moyen d'une régression par moindres carrés et représente les tendances entre les périodes 1961-1980 et 2081-2100.

Comment la figure est-elle interprétée ?

L'illustration en haut à gauche montre que pour toute l'Amérique du Nord, les températures hivernales moyennes augmentent et que le consensus entre les modèles est très fort. Le degré d'augmentation est plus élevé dans la partie nord du continent. En d'autres termes, les régions plus froides subiront une tendance de réchauffement plus élevée. Les résultats sont très similaires pour les températures de froid extrême (illustration du centre), avec un consensus comparable entre les modèles. Quant à l'illustration en bas à gauche, les zones en bleu montrent que les températures froides extrêmes augmenteront plus rapidement que les températures moyennes durant l'hiver, alors que les zones en rouge montrent les régions où les températures de froid extrême augmenteront moins rapidement que les températures moyennes. Enfin, dans l'illustration en bas à droite, les zones en bleu foncé indiquent que très peu de simulations, voire aucune, montrent une tendance plus forte dans la température hivernale moyenne que la tendance dans les extrêmes de températures froides.

Quelles sont les difficultés/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

La plus grande difficulté dans l'analyse des extrêmes est qu'elles ne peuvent tout simplement pas être analysées de la même manière que les moyennes climatiques. Cela est dû au fait que leurs distributions de densité sont très différentes de la distribution des moyennes. Imaginons une distribution de toutes les valeurs de température pour une région donnée (la **variabilité naturelle** de cette région). L'analyse des extrêmes est une analyse des queues de cette distribution, où il y a en fait très peu de valeurs extrêmes. Ainsi, les méthodes statistiques utilisées pour les analyser et les caractériser sont possiblement beaucoup plus complexes que celles utilisées pour comparer des changements de moyennes.

3.3.4 – Analyse de variables à confiance limitée – Choix entre des scénarios climatiques ou des scénarios synthétiques

Il y a de nombreux indices climatiques et événements climatiques demandés par les décideurs (tableau 3) pour lesquels notre confiance dans l'information climatique qui peut être fournie est limitée. Différentes causes expliquent cette confiance plus faible. Premièrement, la résolution des modèles peut ne pas permettre au modèle de « voir » le phénomène (p. ex. orage de convection); deuxièmement, la physique sous-jacente au phénomène peut ne pas être entièrement connue (p. ex. glace de mer); troisièmement, l'inclusion des équations qui représentent le phénomène dans un modèle climatique peut accroître le coût d'exécution de la simulation par un facteur qui rend indésirable une telle inclusion (p. ex. tempête de verglas); quatrièmement, pour certains indices et événements, très peu de données observées sont disponibles, ce qui empêche une évaluation adéquate de la performance des modèles (p. ex. humidité du sol); et finalement, l'information pour certains indices et événements peut exister, mais pas à une résolution qui correspond aux besoins des utilisateurs (p. ex. pression atmosphérique).

Deux méthodes sont présentées ici pour évaluer l'impact des changements futurs de ces variables. La première est de se fier à des scénarios synthétiques (souvent appelés des scénarios « par anticipation »), dans lesquels des futurs hypothétiques sont dérivés à partir de la meilleure information disponible. La seconde est d'utiliser des simulations climatiques. La disponibilité d'observations sur ces variables climatiques augmente, tout comme la compréhension des processus qui les génèrent. Par conséquent, il est probable que notre confiance dans les projections de modèles climatiques pour ces variables moins connues augmentera dans un futur proche.

Cela étant dit, la collaboration entre l'utilisateur et le fournisseur de services climatiques sera de la plus haute importance pour ces variables; et il faut aussi user de prudence. En effet, les limites tant pour les observations (qui peuvent influencer la compréhension des tendances historiques) que pour la capacité des modèles (qui peuvent influencer la fiabilité des projections) devront être soigneusement examinées et comprises, avant que les données ne soient utilisées par les décideurs. La confiance variera énormément selon la variable et la région à l'étude.

Tableau 3. Exemples d'indices ou d'événements climatiques avec une confiance limitée

Indice
Vent
Tempête de verglas
Humidité
Cyclone tropical (ou autres tempêtes)
Humidité du sol
Pression atmosphérique
Glace de mer
Orage de convection
Neige au sol
Sécheresse
Hauteur de vague

3.3.4.1 Scénarios synthétiques

Les scénarios synthétiques peuvent s'avérer une approche utile pour évaluer les différents futurs possibles dans les études d'impact et d'adaptation. De manière simplifiée, ils sont créés en réglant les variables climatiques de manière incrémentale par des quantités arbitraires dans le futur³. La manière dont elles sont réglées doit être cohérente avec les sorties de MCG ou les données climatiques historiques. Ils peuvent être construits pour des variables climatiques pour lesquelles nous avons un haut degré de confiance (p. ex. la température), mais où les ressources pour exécuter des modèles climatiques sont limitées. Dans ces cas, les scénarios permettront une évaluation initiale rapide de la sensibilité potentielle d'un système. Cependant, ils sont particulièrement utiles dans les cas où l'indice climatique à l'étude n'est pas très bien compris actuellement, ou n'est pas bien représenté par les modèles climatiques. Dans ces cas, les climatologues développent des futurs hypothétiques basés sur la meilleure information disponible.

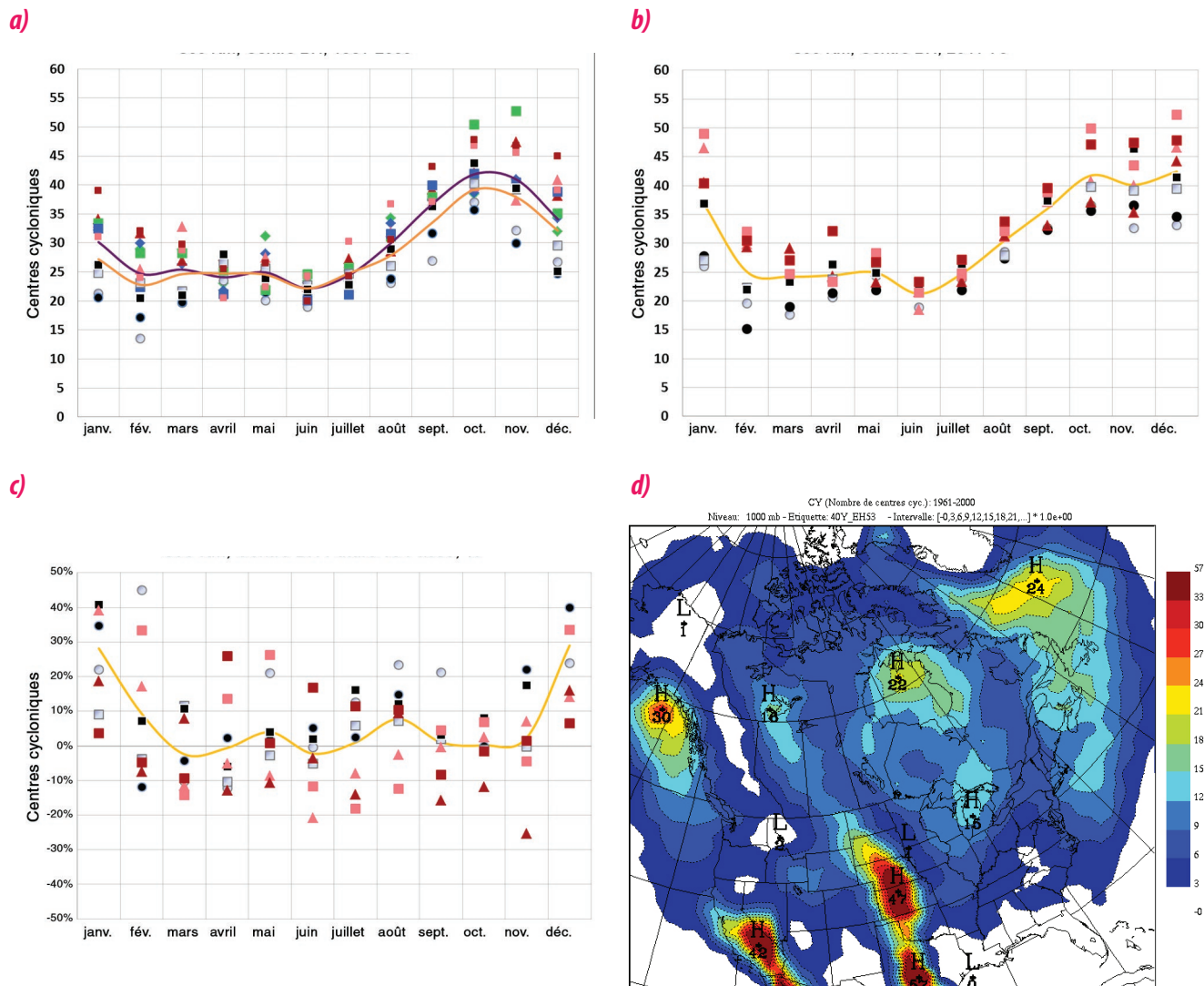
Certains des avantages principaux des scénarios synthétiques sont qu'ils peuvent aider à repérer les sensibilités dans le système, sont d'une construction facile et rapide (c.-à-d. qu'ils ne requièrent pas de ressources importantes de calcul) et sont habituellement faciles à comprendre et à utiliser. Un désavantage important est qu'ils peuvent ne pas être physiquement plausibles et peuvent ne pas représenter les propriétés physiques du système climatique. Ils doivent donc être construits avec soin et leurs hypothèses sous-jacentes doivent être clairement explicitées.

Étude de cas : Analyse de territoires et de populations vulnérables à l'inondation dans un cadre urbain de la ville de Montréal^{B7}.

L'objectif de cette étude était d'analyser la vulnérabilité des populations situées près de la rivière des Prairies, qui coule le long de la rive nord de l'île de Montréal. L'analyse était basée sur la cartographie de zones d'inondation, qui pouvaient être reconstruites pour les événements passés, mais qui devaient être modélisées pour le futur. L'étendue de l'inondation dépend évidemment du débit de la rivière; cependant, cette dernière est régulée et son débit d'eau est donc une variable complexe à simuler. Cette complexité est accrue par le changement climatique. En effet, alors que les précipitations expliquent une grande proportion de la variabilité du débit, d'autres facteurs, qui ne peuvent pas être modélisés, jouent également un rôle, comme l'absorption d'eau par la rivière en amont de la région à l'étude, et d'autres décisions de gestion quant à la régularisation du débit.

Par conséquent, afin d'évaluer la vulnérabilité des zones et de la population près des rives, les auteurs de l'étude ont choisi d'utiliser neuf scénarios synthétiques de valeurs de débit futur afin de simuler une plage d'événements d'inondation. Les débits utilisés étaient basés sur la modélisation hydrologique des valeurs mesurées de débit pour la rivière. Les scénarios plausibles d'augmentation du débit étaient basés tant sur les valeurs historiques de débit que sur les opinions d'experts en hydrologie qui travaillaient sur le projet. Des exemples de valeurs simulées étaient : Q2 (débit maximal avec une période de retour de 2 ans), Q100 (débit avec un retour de 100 ans), Q100 + 2 000 m³/s. Ces scénarios ont permis le développement d'une carte des zones d'inondation potentielle et ultimement une évaluation initiale de la sensibilité des populations à des augmentations futures du débit.

3.3.4.2 Scénario de changement climatique – Simulation de tempêtes pour une étude sur l'érosion côtière



Source : Savard et coll. 2013³⁸

Quelle information climatique est présentée dans la figure ?

Cette figure présente le nombre mensuel moyen simulé de centres cycloniques dans un rayon de 800 km centré sur la baie d'Hudson pour la **période de référence** 1961-2000 (en haut à gauche) et pour la **période future** 2041-2070 (en haut à droite), de même que la différence entre les deux périodes, exprimée sous la forme d'un pourcentage (illustration en bas à gauche). La ligne en violet montre la moyenne pour toutes les simulations, alors que la ligne jaune ne comprend que les simulations de modèles climatiques et exclut les quatre réanalyses (qui sont des estimations du climat historique obtenues à partir de modèles de prévision du temps). De plus, l'illustration en bas à droite montre le nombre moyen de centres cycloniques annuels pour la période 1961-2000, simulé par une **simulation de modèle climatique** globale pour toute l'Amérique du Nord.

Comment la figure est-elle construite ?

Les nombres simulés de centres cycloniques montrés dans la figure sont obtenus au moyen de l'algorithme de Sinclair³⁹, qui peut calculer le nombre de cyclones extratropicaux. Les paramètres climatiques obtenus des différentes simulations climatiques et des réanalyses sont d'abord interpolés sur une grille commune de 100 km sur 100 km. Cet ensemble de données est ensuite utilisé comme entrée dans l'algorithme, afin de simuler les cyclones dans la région à l'étude. L'algorithme évalue le nombre de cyclones toutes les trois heures de temps simulé. Les moyennes sont ensuite calculées sur la période à l'étude, comme 1961-2000 et 2041-2070 dans ce cas.

Comment la figure est-elle interprétée ?

L'illustration en haut à gauche montre qu'il y a un schéma saisonnier fort quant au nombre de centres cycloniques sur la baie d'Hudson. Le nombre de centres est plus élevé à l'automne (septembre à décembre) qu'en hiver. En haut à droite, pour l'horizon 2050, le nombre de centres est également élevé à l'automne et continue de demeurer élevé pendant le mois de janvier. Cette figure suggère également que la saison de tempêtes sera plus longue à l'avenir.

L'illustration en bas à gauche montre que les simulations projettent une légère augmentation du nombre de centres

cycloniques pendant les mois de décembre et de janvier en 2050, avec peu de changements durant les autres mois, par rapport à la période 1961-2000.

La carte en bas à droite suggère, selon une seule simulation, que la région à l'étude sur la baie d'Hudson est caractérisée par un nombre élevé de centres cycloniques, particulièrement en comparaison de l'activité cyclonique simulée ailleurs au-dessus du continent nord-américain.

Quels sont les dangers/limites/erreurs d'interprétation possibles de l'information ?

Les limites associées à ce type d'analyse peuvent ne pas être évidentes pour tous les utilisateurs. D'abord, bien que les figures présentent des données pour la période de référence, ces données sont obtenues des **modèles** eux-mêmes; et les **normales climatiques** ne sont pas illustrées. Les normales climatiques ne sont pas données, car elles ne peuvent tout simplement pas être calculées, à cause de l'absence de données observées sur le nombre de centres cycloniques pour cette région. Cela limite donc grandement notre capacité à valider les résultats du modèle. Les modèles peuvent réussir à représenter les variables climatiques individuelles qui agissent conjointement pour créer les centres cycloniques, mais il est impossible d'évaluer à quel point ils simulent bien le comportement conjoint de ces variables. Une pénurie semblable de données observées sera problématique pour plusieurs des variables du tableau 3.

D'un point de vue plus pratique de prise de décision, il est important de considérer que bien que le nombre de simulations est très petit, la plage des projections est importante. Par exemple, le changement dans le nombre de centres en janvier varie de 5 à 40 %. De plus, le faible nombre de simulations limite l'analyse rigoureuse de la plage complète d'**incertitude** dans les modèles. Aussi, la façon dont les simulations ont été choisies n'est pas précisée. Il se pourrait, par exemple, que les simulations choisies soient toutes dans la partie inférieure du spectre (scénarios plus optimistes; voir la section 4 pour une méthode de **sélection de simulations** parmi un ensemble, afin de représenter adéquatement la dispersion dans les modèles). La prudence est donc de rigueur au moment d'utiliser cette information pour la prise de décision.



3.3.5 Études de cas utilisant de l'information climatique détaillée

Titre du projet : Étude sur les schémas de tempêtes au Nunavik

Région : Nunavik

Résumé : L'objectif de cette étude était d'évaluer les répercussions du changement climatique sur les infrastructures maritimes côtières pour sept villages de la région du Nunavik³⁸. Plus particulièrement, l'objectif était d'étudier les conséquences des tempêtes et des processus océaniques sur les surcotes (niveaux d'eau plus élevés que la marée prédite) et le développement de vagues fortes. Les sorties de modèles climatiques régionaux et globaux ont été utilisées pour simuler les caractéristiques des tempêtes, comme le nombre d'événements, leur vitesse et leur trajectoire. On s'attend à ce que les changements projetés dans ces systèmes de grande taille, à savoir la périodicité des tempêtes, aient des répercussions importantes sur les milieux côtiers.

Généralement, les résultats de l'étude ont entraîné une meilleure compréhension des processus responsables de la création et du maintien de systèmes de grande taille au-dessus de la baie d'Hudson. Cela inclut les liens entre leur occurrence et leur effet sur le développement de vagues et de surcotes, qui sont responsables des dommages causés aux infrastructures côtières.

Cette étude sert également d'exemple où les résultats sont précieux pour les décideurs, malgré certaines limites évidentes comme le nombre restreint de simulations climatiques et l'incertitude accrue qui y est associée. Les schémas généraux dans les changements, par exemple, sont cohérents parmi toutes les simulations. Cela est en soi une information que les décideurs peuvent obtenir de l'étude. Quant aux incertitudes dans les simulations fournies, cette information peut être combinée avec d'autres renseignements, par exemple les évaluations de vulnérabilité des populations ou des infrastructures (dans lesquelles, par exemple, des seuils de résilience peuvent être déterminés) afin de mieux évaluer l'urgence de mettre en place des mesures d'adaptation.

Site Web :

Un exemplaire en français de ce rapport peut être obtenu auprès d'Ouranos.

Titre du projet : Développement d'un prototype de système d'alerte de faibles débits et de prélèvements d'eau excessifs dans le bassin hydrographique de la rivière Yamaska

Région : Sud du Québec

Information climatique utilisée : Données de séries temporelles

Résumé : L'objectif global de ce projet était de sensibiliser tant le public que les décideurs aux vulnérabilités liées au faible débit ainsi qu'au mauvais usage de l'eau en été. Un second objectif était d'évaluer les répercussions du changement climatique sur les faibles débits, afin de commencer à développer des stratégies d'adaptation. Le projet comportait la construction d'un site Web sur lequel les débits de rivière en temps réel et les prévisions pour 7 jours peuvent être consultés et comparés à des indices de faible débit durant la période estivale. Le projet visait à lier chaque indice de faible débit à un ensemble de mesures visant à restreindre l'utilisation de l'eau. Des villes sélectionnées le long du bassin hydrographique de la Yamaska sont libres de mettre en œuvre ou non les restrictions lorsque le débit chute en dessous de ces indices.

Les données en temps réel du débit de la rivière sont mesurées par le Centre d'expertise hydrique du Québec, alors que les prévisions et les indices de faible débit sont basés sur des données de débit observé. Les répercussions du changement climatique sur les débits futurs ont été évalués en important les sorties de modèles climatiques régionaux dans le modèle hydrologique Hydrotel, un modèle d'impact. Les résultats montrent que l'on peut s'attendre à des débits faibles plus importants et plus longs dans ce bassin hydrographique à l'avenir (sur l'horizon 2050, à savoir 2041-2070).

Ce projet est un bon exemple de la manière d'incorporer des données de modèles climatiques dans des projets au niveau municipal. Bien que le problème de la gestion de l'eau soit un défi important pour l'organisation du bassin hydrographique de cette rivière, ce projet communique ce problème à un public plus large. Plus spécialement, le prototype de système d'alerte est utilisé pour sensibiliser les gens et mieux utiliser la ressource. Les résultats de l'évaluation du changement climatique faciliteront l'accélération du processus d'adaptation dans le bassin hydrographique.

Site Web :

Un exemplaire en français de ce rapport peut être obtenu auprès d'Ouranos.

Le système d'alerte en fonction se trouve sur le site http://209.172.32.126/~groupe6_2011/Accueil.html



4. CONCEPTS FONDAMENTAUX EN MODÉLISATION CLIMATIQUE

4.1 *Modèle, simulation et projection climatique, scénario d'émissions et scénario de changement climatique*

Il est important de comprendre les différences entre ces termes utilisés tout au long du document, car ils peuvent sembler similaires, au moins en apparence. Notez que les définitions adoptées dans ce document sont en accord avec celles adoptées par le GIEC^{40,41}.

D'abord, un *modèle climatique* est un outil numérique basé sur des équations mathématiques qui représentent des processus du système climatique. Ces équations sont fondées sur les lois physiques de la mécanique des fluides, comme la conservation de la masse, de l'énergie, de l'eau et de la quantité de mouvement. Elles décrivent le comportement et les interactions entre l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère, la cryosphère et la biosphère, sous des forçages externes tels que la radiation solaire et les émissions anthropiques. Puisque le système climatique est de nature non linéaire (chaotique), il faudrait, pour obtenir une solution analytique exacte des équations mathématiques, utiliser tellement de simplifications que la solution serait trop différente du système réel. La manière de réduire les simplifications est de résoudre le système d'équations de manière numérique, au moyen d'un superordinateur et de méthodes numériques sophistiquées. Ces équations devraient idéalement être résolues pour chaque point de l'atmosphère, des océans et des couches supérieures du sol. À cette fin, ces composants du système climatique sont divisés en boîtes discrètes ou cellules (points) de grille qui recouvrent la planète. La taille des cellules de grille, tant horizontale que verticale, détermine la résolution du modèle. Ainsi, un modèle climatique physique est un simulateur qui comprend du code informatique pour fournir une représentation discrète (c.-à-d. sur une grille) dans l'espace et le temps des équations fondamentales de la mécanique des fluides, résolues au moyen d'un schéma numérique. De nombreux modèles climatiques ont été développés par différents centres de climatologie dans le monde. Les modèles diffèrent selon plusieurs facteurs, comme le choix du schéma numérique, le degré de simplification, la grille et la manière de représenter les phénomènes physiques qui se produisent à des échelles plus fines que celle résolue directement par les équations fondamentales (paramétrage). Cela implique que chaque modèle aura un résultat légèrement différent de celui d'un autre modèle.

Les *simulations climatiques* sont le produit final des modèles climatiques. Elles représentent le résultat de l'exécution d'un modèle climatique pendant une certaine période de temps. La durée d'une simulation peut varier de quelques années à des milliers d'années; et la simulation sera calculée itérativement à des intervalles de quelques minutes. Ces intervalles, aussi appelés pas de temps, indiquent la période dans le modèle entre deux états du système climatique tels que calculés par les équations. La longueur du pas de temps définit la résolution temporelle, qui est habituellement de 5 à 20 minutes. À chaque pas de temps et à chaque point de la grille de calcul, la solution numérique des équations donne les valeurs des variables comprises dans les équations fondamentales, de même que de plusieurs autres dérivées des paramétrages physiques. Ainsi, une simulation climatique contient plus d'une centaine de variables climatiques descriptives (température, vents, pression atmosphérique, pluie, neige, etc.), qui devraient toutes être physiquement cohérentes entre elles, d'un point à un autre de la grille et d'un instant à un autre.

Les modèles climatiques peuvent produire des simulations pour n'importe quelle période, tant passée que future. La partie d'une simulation pour la période future est appelée *projection climatique*. Elle représente une évolution plausible des différentes variables qui décrivent le système climatique sur une période de plusieurs décennies à plusieurs siècles, lorsque soumis à un changement forcé du système climatique, à savoir l'augmentation des gaz à effet de serre. Les simulations climatiques exigent en entrée un portrait détaillé de la surface de la Terre, y compris des données géophysiques (types de sol, types de végétation, contours continentaux, emplacement et bathymétrie des grandes étendues d'eau, description de la topographie, etc.). Un des facteurs clés des modèles climatiques dans les études de changement climatique est la concentration chimique de l'atmosphère (particulièrement en aérosols et en gaz à effet de serre). Cette composition chimique est obtenue des observations pour la période passée et des *scénarios d'émissions* pour les projections climatiques. Les scénarios d'émissions décrivent les dégagements futurs plausibles de gaz à effet de serre, d'aérosols et d'autres gaz anthropiques dans l'atmosphère. De tels scénarios sont incertains, car ils

sont basés sur des hypothèses portant sur les développements socioéconomiques et technologiques futurs, qui peuvent ou non se réaliser. Le choix d'un scénario d'émission détermine une grande proportion de l'incertitude dans les projections climatiques, particulièrement pour la dernière partie du siècle (voir l'élément 4.2 dans cette section pour plus d'informations sur les scénarios d'émission).

Il est important de noter que les modèles climatiques et les scénarios d'émissions évoluent au fur et à mesure que de nouvelles données sur les processus qui gèrent le climat et les émissions de gaz à effet de serre deviennent disponibles. Ceci est reflété dans la production et l'utilisation de nouvelles simulations climatiques par la communauté scientifique. Un exemple d'un tel changement des scénarios d'émissions et des modèles climatiques est expliqué à l'élément 4.2 de cette section.

Enfin, les *scénarios climatiques* sont une représentation simplifiée et plausible du climat futur, construite à partir de simulations climatiques. Ils représentent la différence entre le climat actuel et le climat futur. Essentiellement, ils représentent un produit plus raffiné que la sortie d'un modèle climatique (dans lequel les pas de temps sont de quelques minutes). Les scénarios climatiques donnent un portrait du futur en calculant la moyenne des sorties des simulations à une résolution temporelle plus appropriée aux études d'impact (sur des années, des saisons, ou des jours, par exemple); et ils sont probablement le produit d'information climatique le plus utilisé pour évaluer les répercussions potentielles du changement climatique. Les scénarios climatiques sont généralement regroupés dans les classes suivantes³ :

- Les *scénarios synthétiques* sont produits en faisant varier une variable climatique particulière par une quantité réaliste, mais arbitraire, pour obtenir des futurs probables.
- Les *scénarios analogues* sont construits en déterminant des régimes climatiques connus qui ressemblent au climat futur d'une région donnée.
- Les *scénarios de modèles climatiques* sont construits au moyen de sortie de données de modèles climatiques qui simulent la réponse future du climat à une augmentation des concentrations en gaz à effet de serre.

Remarque sur la génération et la résolution de modèle

Génération

Il est généralement admis que les simulations de modèles climatiques récents sont probablement plus fiables que celles des plus anciens. Après tout, elles sont basées sur des connaissances plus récentes et devraient incorporer plus de processus et de rétroaction. Cependant, les différences entre deux générations de modèles ne sont pas toujours très claires. Par conséquent, l'information fournie par un modèle plus vieux demeure valide lorsqu'une nouvelle génération de modèle est disponible. En effet, les études d'impact effectuées avec un ensemble plus vieux ne doivent pas être rejetées automatiquement lorsque de nouvelles simulations sont offertes. À ce titre, l'information dans ce guide est souvent basée sur la plus récente génération de modèles (de l'ensemble CMIP5); cependant, des simulations plus vieilles (de l'ensemble CMIP3) sont également utilisées dans certains cas. Ce guide met l'accent sur l'interprétation de l'information climatique, qui en général dépend très peu des modèles utilisés.

Résolution de l'information

La tendance est de croire que plus la résolution de l'information donnée est fine, plus celle-ci est appropriée, utilisable ou riche. Par conséquent, on peut vouloir utiliser des modèles climatiques régionaux ou des données soumises à une technique de mise à l'échelle statistique, plutôt que les sorties brutes des modèles climatiques globaux. Ultiment, le choix d'un type de données plutôt qu'un autre dépend de l'évaluation de nombreux facteurs, qui sont abordés plus en détail à l'élément 4.6 de cette section. Il est cependant important de comprendre qu'une résolution accrue de modèle n'assure pas une performance supérieure de celui-ci. De plus, une résolution plus élevée (p. ex. au moyen de techniques de mise à l'échelle) ne donnera pas nécessairement de l'information plus utile au décideur.

4.2 Scénarios d'émissions de gaz à effet de serre : scénarios d'émissions relatives à la concentration (SRES) et scénarios de forçage radiatif (RCP)

Les scénarios d'émissions sont basés sur un ensemble cohérent (y compris de manière interne) d'hypothèses sur les forces sous-jacentes (comme le changement technologique, la croissance démographique et le développement socioéconomique) et leurs relations principales (GIEC 2007⁴²). Les niveaux d'émissions futures sont incertains; ainsi, les scénarios fournissent différents portraits de la manière dont le futur pourrait se dérouler. Leur plage reflète notre compréhension et nos connaissances actuelles sur les incertitudes sous-jacentes; ces scénarios subissent donc certains changements avec l'apparition de nouvelles données sur les facteurs qui les animent et avec les décisions prises par les gouvernements et la population mondiale qui affectent leurs émissions.

Un tel changement important s'est produit au cours des dernières années et se reflète dans le plus récent (cinquième) rapport d'évaluation du GIEC, dans lequel les concentrations en gaz à effet de serre sont maintenant décrites au moyen de RCP plutôt que de scénarios d'émissions (SRES)⁴³.

4.2.1 Scénarios SRES

Cet ensemble de scénarios d'émissions a été publié dans un rapport spécial sur les scénarios d'émissions (GIEC 2000⁴⁴). Ils constituent les entrées des modèles climatiques pour le troisième et le quatrième rapport d'évaluation du GIEC, publiés respectivement en 2001 et en 2007^{42,45}.

Il existe environ 40 scénarios SRES différents, regroupés en familles qui rassemblent les scénarios les plus similaires en matière de leurs hypothèses sur leurs forces sous-jacentes (p. ex. croissance démographique et économique). La figure 19 représente les émissions de gaz à effet de serre pour six des familles les plus souvent utilisées, de même que leurs augmentations respectives de température projetées par les modèles climatiques pour le prochain siècle.

4.2.2 Trajectoires de concentration représentatives (RCP)

Les trajectoires de concentration représentatives (RCP) sont les nouveaux scénarios d'émissions clés qui servent d'entrée aux modèles climatiques de la phase 5 du projet *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5), qui forme la base du cinquième rapport d'évaluation du GIEC (tableau 4, figure 20). Tout comme les SRES ont remplacé les scénarios d'émissions plus vieux, les RCP remplacent maintenant les SRES afin d'être cohérents avec les nouvelles données, les nouveaux développements mondiaux et les nouveaux modèles. Les RCP contiennent des trajectoires d'émissions, de concentration et d'utilisation des terres, et visent à être représentatifs des publications actuelles sur les émissions et la concentration des gaz à effet de serre. L'hypothèse est qu'une trajectoire de forçage radiatif donnée peut provenir d'une gamme diversifiée de scénarios de développement socioéconomique et technologique.

Quatre RCP ont été sélectionnées et nommées selon leur forçage radiatif total autour de l'an 2100. Leurs trajectoires, équivalents en CO₂, les augmentations associées de la température de l'air en surface et les équivalents SRES correspondant sont présentés dans le tableau 4.

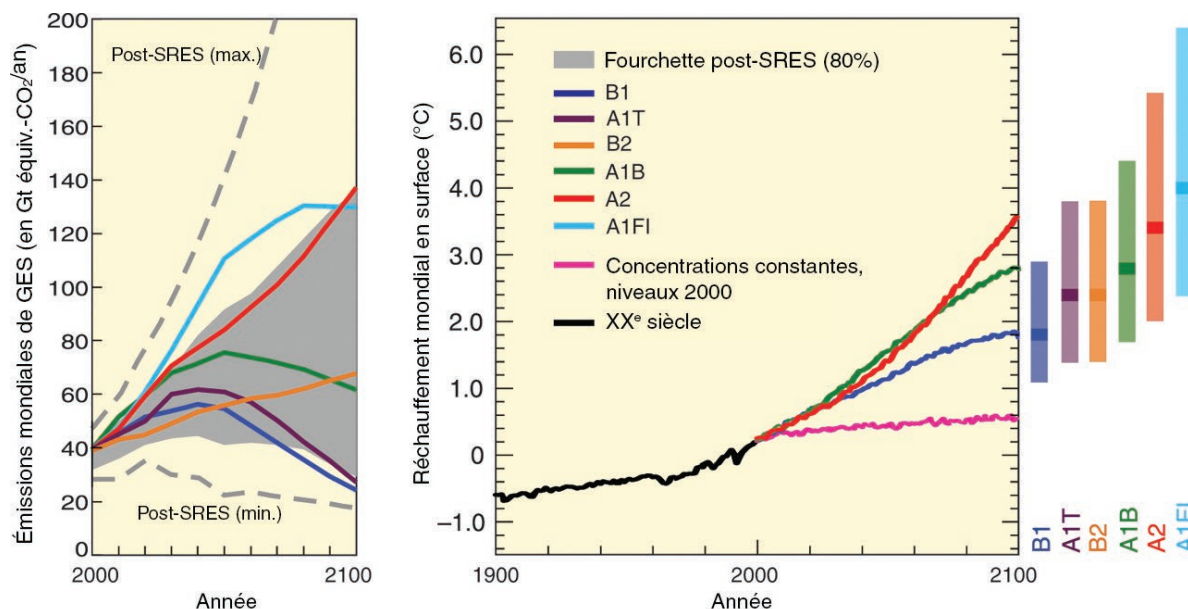


Figure 19. Illustration de gauche : Émissions mondiales de GES (en GtCO₂-eq) en l'absence de politiques climatiques : six exemples de scénarios marqueurs SRES (lignes colorées) et la plage du 80^e percentile des scénarios récents publiés depuis les SRES (post-SRES; zone ombrée en gris). Les lignes pointillées montrent la plage complète des scénarios post-SRES. Les émissions comprennent les gaz CO₂, CH₄, N₂O et F.

Illustration de droite : Les lignes pleines sont les moyennes mondiales multimodèles du réchauffement de surface (relatif à 1980-1999) pour les scénarios SRES A2, A1B et B1, présentés en continuité des simulations du 20^e siècle. La ligne orange est pour l'expérience dans laquelle les concentrations ont été maintenues à leurs valeurs en 2000. Les barres au milieu de la figure indiquent la meilleure estimation (ligne pleine dans chaque barre) et la plage probable évaluée pour les six scénarios marqueurs SRES en 2090-2099, relativement à 1980-1999.

Source: GIEC (2007)⁴²

Tableau 4. Caractéristiques des RCP et de leurs similitudes avec les scénarios SRES.

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (ppm)	Anomalie de T (°C)	Trajectoire	SRES équivalent (anomalie de T)
RCP8.5	8.5 W/m ² en 2100	≥ 1370	4.9	Croissante	SRES A1FI
RCP6.0	6 W/m ² après 2100	~ 850	3.0	Stabilisation sans dépassement	SRES B2
RCP4.5	4.5 W/m ² après 2100	~ 650	2.4	Stabilisation sans dépassement	SRES B1
RCP2.6 (RCP3PD)	Pic à 3 W/m ² en 2050 puis déclin à 2.6 W/m ² avant 2100	~ 490	1.5	Pic puis déclin	Aucun

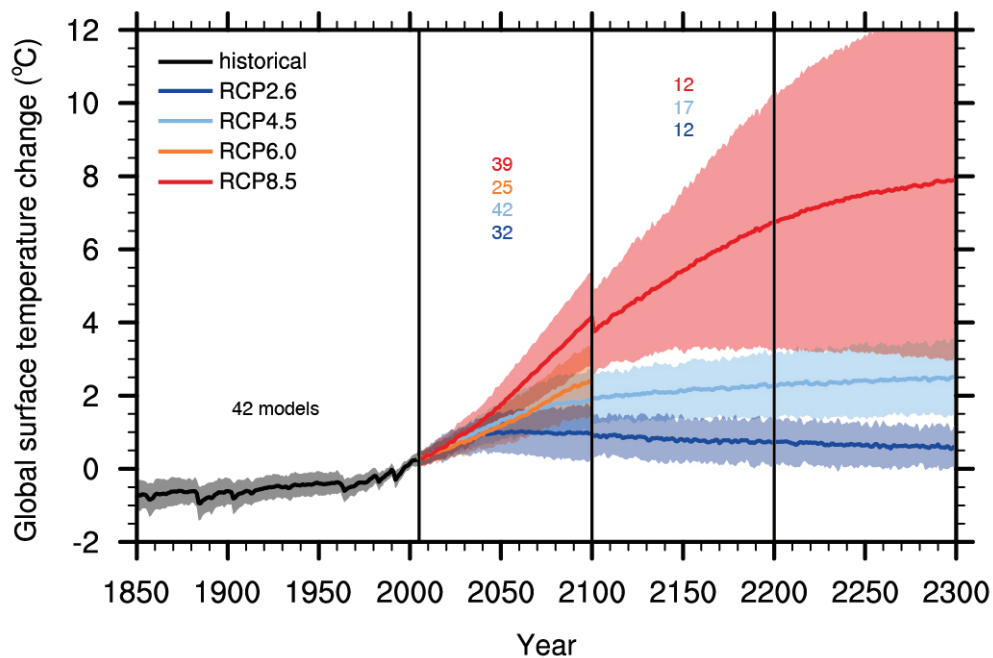
Adapté de Rogelj et al. 2012⁴⁶

Figure 20: Séries simulées à partir de plusieurs modèles CMIP5 de l'évolution de la température annuelle moyenne du globe en surface de 1950 à 2100 par rapport à la période 1986-2005. Les projections de la moyenne multimodèles de chaque scénario RCP (lignes de couleur) sont présentées ainsi que la plage de 5 à 95% (± 1.64 déviation standard) des distributions des modèles individuels (parties ombrées). Les coupures en 2100 sont dues aux différents nombres de modèles utilisés après le 21^{ème} siècle et n'ont pas de signification physique. Un seul membre de chaque modèle est utilisé et le nombre total de modèles utilisés pour les différentes périodes de temps est indiqué. L'incertitude pour le RCP6.0 n'est pas présentée après 2100 étant donné que seulement deux modèles sont disponibles.

Source: GIEC 2013⁴³

4.2.3 Quelques mots sur les modèles climatiques CMIP3 et CMIP5

Tel que discuté ci-dessus, la transition des SRES aux RCP correspond également à l'utilisation de résultats provenant d'un nouvel ensemble de simulations climatiques mondiales offertes par CMIP5. La plus récente génération de modèles qui font partie de ce projet est exécutée au moyen des RCP, alors que les simulations du CMIP3 antérieur utilisaient les scénarios SRES. Les simulations CMIP5 sont généralement exécutées à une résolution spatiale plus élevée et les modèles comportent une représentation plus complète des paramétrages physiques (en particulier, les cycles biophysiques comme celui du carbone). Bien qu'il soit attendu que la nouvelle génération de modèles fournisse une meilleure représentation du climat, tous les modèles n'ont pas évolué de manière égale⁴⁷.

Cependant, étant donné que les deux générations utilisaient différents forçages de gaz à effet de serre, les comparaisons

de sorties projetées ne sont pas simples. Des études récentes ont tout de même montré que les comparaisons des moyennes des modèles quant aux changements de température et de précipitations sont similaires entre CMIP3 et CMIP5, pour les projections climatiques avec un forçage similaire⁴⁸. Pourtant, l'ensemble CMIP5 se compare plus avantageusement avec les observations des simulations climatiques passées⁽⁴⁹⁻⁵²⁾. Ces conclusions devraient rassurer les utilisateurs sur le fait que l'information climatique fournie au moyen des modèles CMIP3 demeure valide et solide, même s'il y a maintenant une tendance à passer aux modèles CMIP5. Elles soutiennent également l'argument qu'un ensemble de modèles doit être utilisé au moment de la prise de décision, puisqu'il a été établi qu'un modèle unique choisi parmi l'ensemble est moins performant que l'ensemble complet, lorsque plusieurs variables sont validées avec les observations⁵³.

4.3 Caractéristiques du climat et de la variabilité naturelle

Le climat peut être défini comme étant les statistiques des conditions météorologiques d'une région (comme la température, les précipitations, l'humidité, les vents, la couverture nuageuse, etc.) sur de longues périodes, généralement 30 ans selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Alors que le temps varie d'une journée à l'autre, le climat capture les variations à toutes les échelles temporelles, d'une décennie ou d'un siècle à un autre, ou même sur une base annuelle ou saisonnière. Par exemple, certains hivers sont plus chauds que d'autres, et certaines années comportent plus de précipitations totales que d'autres. Ces différences sont considérées comme la variabilité naturelle du climat, ou la variabilité climatique. Une partie de ces fluctuations naturelles du climat est chaotique et imprévisible, mais d'autres fluctuations sont causées par des phénomènes plus ou moins cycliques qui se produisent à différentes échelles temporelles, comme la réponse du climat au cycle solaire⁵⁴, le rôle de la stratosphère⁵⁵ et le rôle des schémas de circulation océanique⁵⁶. Il est important de mentionner que la plupart de ces phénomènes, au cœur de la variabilité naturelle du monde réel, émerge des simulations climatiques mais souvent avec différentes propriétés statistiques.

Pour représenter et surveiller le climat à un emplacement particulier, des statistiques sur n'importe quelle variable climatique donnée doivent être calculées sur de longues périodes. Deux statistiques sont particulièrement importantes pour comprendre le climat d'une région, la moyenne et la plage qui résulte de la variabilité naturelle :

La moyenne – les normales climatiques : La *moyenne* des conditions météorologiques, telle que calculée à partir d'observations sur un intervalle de temps historique, définit les conditions « typiques » d'une région donnée. L'intervalle de temps est souvent appelé la période ou base de référence.

La plage – la variation interannuelle : Les calculs de la variabilité sont basés sur les écarts à la moyenne. La plage montre les écarts annuels par rapport à la normale climatique sur 30 ans, c'est-à-dire la composante interannuelle de la variabilité naturelle.

Les normales climatiques des périodes de référence sont utilisées comme valeur de base à partir de laquelle les projections climatiques peuvent être évaluées. En d'autres termes, le *changement climatique* est un changement continu à long terme, vers le haut ou vers le bas, par rapport aux conditions météorologiques moyennes.

Lorsqu'une moyenne est calculée, comme c'est le cas pour les normales climatiques, la « variation » dans les données est aplanie, mais la plage dans les données peut être tout aussi importante, particulièrement par rapport aux extrêmes. Au moment de la prise de décision, il est donc important de comprendre et de tenir compte des deux composantes qui caractérisent le climat.

Il est important de comprendre que la variabilité naturelle existe dans le climat récent, pour plusieurs raisons : D'abord, cela peut rappeler aux utilisateurs que les projections climatiques ne leur fournissent pas un futur, mais plutôt une gamme de climats futurs possibles, même pour un seul scénario d'émissions. Ensuite, l'information sur la plage du climat passé peut être un bon point de départ pour évaluer le besoin en matière d'adaptation; et comme l'illustre la section 3, elle peut être dans certains cas suffisante pour prendre des décisions, sans avoir besoin de se fier à des projections climatiques.

4.3.1 Quelques mots sur la fenêtre de 30 ans utilisée pour les normales climatiques

L'OMM recommande des horizons temporels de 30 ans, habituellement mis à jour toutes les décennies. Les normales sont calculées au moyen des observations de température et de précipitations recueillies à l'échelle mondiale depuis le milieu du 19^e siècle (certaines stations disposent de séries temporelles encore plus longues), de même que d'autres variables climatiques sur une base plus sélective. L'exhaustivité de ces observations enregistrées permet la détection de changements dans les normales climatiques. Pour faciliter les comparaisons entre les études, les centres climatiques partout dans le monde tendent à converger vers une période similaire, qui est approuvée par l'OMM. Cependant, il est important de noter que d'autres sources d'observations, comme les données de satellites, sont offertes pour des périodes beaucoup plus courtes et récentes.

Ces données sont parfois utilisées pour créer des valeurs de référence ou de base qui diffèrent de celles recommandées par l'OMM. Les particularités de l'étude entreprise par le décideur peuvent aussi influencer la période de référence choisie. Ce qui importe, c'est que la période ou base de référence soit suffisamment longue pour bien caractériser les conditions climatiques à long terme et ne pas être trop influencée par la variabilité à court terme. Par exemple, une moyenne sur 10 ans pourrait facilement être influencée par une tendance de réchauffement ou de refroidissement à court terme, alors qu'une moyenne sur 30 ans pourrait aplanir cet effet (des tendances au refroidissement sont aussi possible sur des périodes relativement longues même dans un contexte d'augmentation des GES).

4.4 Utilisation d'un ensemble de simulations

Les utilisateurs d'information climatique expriment souvent le désir de disposer du « meilleur » scénario, ou de celui qui est le plus susceptible d'être « vrai ». Cependant, il n'est pas possible pour des fournisseurs de services climatiques de choisir un tel scénario de changement climatique au sein de l'ensemble dont ils disposent. Cela est expliqué par les propriétés intrinsèques des modèles climatiques, des simulations climatiques, des scénarios d'émissions et des scénarios de changement climatique. Pris ensemble, ils fournissent une représentation plausible du monde réel actuel et du changement possible du climat, étant données les connaissances actuelles. Les modèles climatiques à la fine pointe fournissent une représentation sophistiquée mais imparfaite du système climatique du monde réel. Il est très difficile de déterminer quel modèle est le meilleur, car

chacun comporte des forces et des faiblesses différentes. Par exemple, certains peuvent simuler des températures qui sont légèrement inférieures à celles des autres modèles, alors que d'autres peuvent toujours projeter plus de précipitations. Aucun modèle climatique ne peut toujours fournir les meilleurs résultats pour toutes les variables, saisons et régions.

Ainsi, lorsque l'on fournit de l'information climatique, il est prudent de considérer un ensemble de simulations et de tenir compte de la plage lors du processus de prise de décision. En d'autres termes, tant le scénario le plus favorable que le plus défavorable pourraient se produire.

4.4.1 Combien de simulations doivent être utilisées ?

Comme indiqué ci-dessus, les directives générales tendent à suggérer aux utilisateurs d'obtenir des projections climatiques basées sur le plus de simulations possible, qui elles-mêmes représentent le plus de modèles et de scénarios d'émissions possible⁵⁷. Cependant, l'expression « grand ensemble » demeure vague. En effet, le choix du nombre de simulations à considérer dans un projet donné sera influencé par le temps et les ressources disponibles. Dans ce cas, l'expertise du fournisseur de services climatiques sera invariablement très précieuse pour aider le décideur à choisir un nombre approprié.

Différentes techniques statistiques peuvent servir à sélectionner un nombre limité de simulations qui représentent le mieux les propriétés de l'ensemble complet. L'objectif est de veiller à ce que les modèles choisis représentent adéquatement la plage complète de conditions futures possibles pour les indices à l'étude⁵⁸. Une de ces techniques est l'analyse typologique. Brièvement, cette méthode consiste tout d'abord à sélectionner les variables climatiques qui sont à l'étude dans un projet particulier. Ensuite, pour chaque simulation, les variables sont calculées pour la période de référence et pour l'horizon futur, et la

différence entre les deux valeurs (c.-à-d. le changement climatique) est calculée. Les différences sont ensuite normalisées et un algorithme peut être utilisé pour calculer les distances entre toutes les simulations dans un espace à plusieurs dimensions (les dimensions correspondent aux variables climatiques choisies). La figure 21 illustre un exemple et souligne l'objectif de maximiser la plage dans la réponse (c.-à-d. l'incertitude) tout en réduisant le nombre de simulations choisies. La figure montre le nombre de simulations nécessaires pour couvrir adéquatement la plage de l'ensemble de simulations pour trois variables climatiques, à savoir la température, les précipitations et la couverture de neige en hiver. L'analyse révèle qu'un choix de 12 simulations parmi les 86 possibles permet une bonne représentation de la plage dans la réponse.

De plus, dans certains cas, une certaine contribution des utilisateurs peut s'avérer nécessaire pour sélectionner une partie précise de la plage⁵⁸. Par exemple, certains exercices de planification peuvent justifier le besoin d'évaluer les scénarios de la pire éventualité (p. ex. en ne considérant que les modèles exécutés avec le plus grand forçage radiatif, RCP8.5).

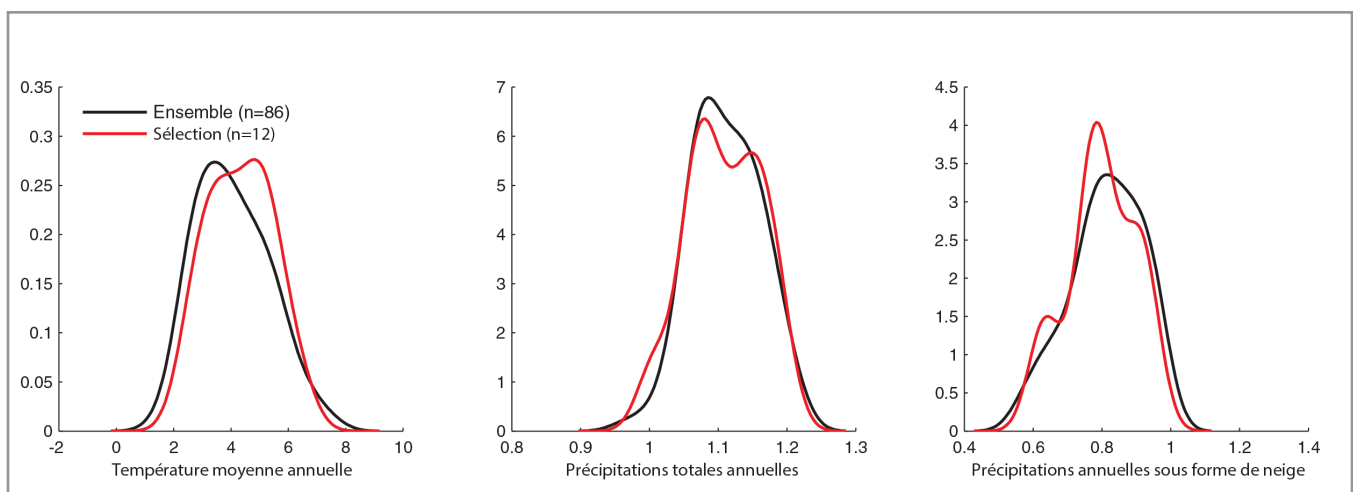


Figure 21: Maximiser la couverture des distributions de précipitation et de température avec le nombre minimum de simulations provenant d'un plus grand ensemble.

4.5 Partition des sources d'incertitude

Comme mentionné ci-dessus, un ensemble de simulations constitue la meilleure représentation du climat futur; cela implique que les décideurs reçoivent une plage de futurs plausibles. Cette plage est souvent appelée l'incertitude des projections climatiques. L'incertitude (la plage) dans les projections doit être représentée peu importe le niveau d'expertise du décideur, étant donné qu'il est impossible de fournir le « meilleur » scénario ou celui qui est « le plus probable ». Cependant, les incertitudes n'ont pas toutes la même importance pour tous les utilisateurs. De manière simplifiée, il devrait y avoir un accroissement de la sensibilisation et de l'importance de l'incertitude en passant de la catégorie de base à la catégorie détaillée d'information. Par exemple, dans le cas d'un besoin de sensibilisation, le fait que la température augmente peut être suffisant, peu importe que la plage soit de 2 à 5 °C ou de 3 à 6 °C. Cependant, dans le cas d'un besoin détaillé d'évaluer des options particulières d'adaptation (p. ex. agrandir un barrage), les valeurs de la plage ou de l'incertitude auront une importance beaucoup plus grande.

Dans plusieurs cas, les parties prenantes et les décideurs sont déjà aux prises avec l'incertitude, car ils ont à gérer la variabilité dans le temps et dans le climat à court terme. Par conséquent, l'incertitude dans les projections climatiques ne doit pas être vue comme un obstacle à la prise de décision sur une échelle temporelle plus longue. Il est cependant important de comprendre que les principales sources d'incertitude et leur importance relative changeront au fil du temps. Notez que la discussion ci-dessous suppose qu'il y a un signal clair de changement climatique.

Il existe trois composantes principales d'incertitude, lesquelles ont été abordées plus tôt dans cette section: la variabilité naturelle du climat, les imprécisions des modèles climatiques et les émissions de gaz à effet de serre⁵⁹⁻⁶¹. Comme vu précédemment, l'évolution du climat est influencée par des fluctuations naturelles importantes et imprévisibles, qui se produisent même en l'absence de changement dans la concentration des gaz à effet de serre. L'évolution des émissions de gaz à effet de serre est

également incertaine, de même que le fait que les modèles climatiques diffèrent tous à un certain point dans leur réponse aux émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'incertitude dépend de la variable climatique. Par exemple, l'importance relative de l'incertitude dans le changement de température dépend plus du scénario d'émissions, alors que l'incertitude quant aux précipitations dépend plus du modèle et de la variabilité naturelle.

L'importance relative des sources d'incertitude dépend de la période considérée. Sur une période de quelques décennies, la variabilité naturelle du climat est la source la plus importante d'incertitude. En d'autres termes, cela signifie que le signal de changement climatique peut être masqué par la variabilité naturelle. Cela est d'une importance extrême, car cette variabilité peut s'opposer, au moins pendant quelques décennies, aux tendances à long terme qui sont associées au changement climatique anthropique. Dit autrement, plusieurs décennies peuvent être nécessaires avant que le « signal » climatique émerge du « bruit » de la variabilité interannuelle. Sur des périodes courtes, le choix de scénarios d'émissions est relativement sans importance. Cela est peut-être surprenant, mais il s'écoule environ 30 ans avant qu'une quelconque différence entre les scénarios d'émissions ait un effet notable sur le climat^{3,60}. Cependant, sur des horizons temporels plus longs, le choix d'un scénario d'émissions devient très important, alors que l'incertitude du modèle demeure relativement constante, peu importe l'échelle temporelle sur laquelle les décisions sont prises. Il a été montré que ces schémas sont cohérents avec les analyses, tant mondiale que régionale, des incertitudes^{59,61-64}.

En termes de l'incertitude associée aux modèles climatiques, son importance relative demeure assez uniforme sur les différents horizons de planification. Cependant, cette source d'incertitude est relativement faible en importance, lorsque comparée aux deux autres sources d'incertitude sur un horizon de planification à plus court terme.

Ainsi, dans un cadre de prise de décision, l'échelle temporelle de l'horizon de planification doit être prise en compte, afin de pondérer l'importance des différentes sources d'incertitude

(tableau 5), ce qui aura également une grande influence sur le type d'information climatique qui serait le plus approprié. Sur un horizon de planification à court terme, les décideurs peuvent vouloir accorder une plus grande importance à la variabilité naturelle dans les observations sur la région à l'étude, tout en gardant à l'esprit que le signal de changement climatique sous-jacent est tout de même pertinent. En d'autres mots, même pour des objectifs à court terme, une vision à long terme est nécessaire.

Par contre, pour des horizons de planification plus longs, les incertitudes liées au scénario d'émissions doivent recevoir une attention particulière. Dit autrement, sur ces horizons, le signal de changement climatique est plus fort que la variabilité climatique, mais il est fortement influencé par le scénario d'émissions retenu. Étant donné le haut niveau d'incertitude associé à l'évolution des émissions de gaz à effet de serre anthropiques, les décisions doivent tenir compte de tous les futurs plausibles.

Tableau 5. Importance relative des trois sources principales d'incertitude au fil du temps.

<i>Horizon de planification</i>	<i>Importance relative des sources d'incertitude</i>			<i>Source clé à considérer pour la prise de décision</i>
	<i>Variabilité naturelle</i>	<i>Scénario d'émission</i>	<i>Modèle climatique</i>	
<i>Court terme (<30 ans)</i>	***		*	<i>Variabilité naturelle</i>
<i>Moyen terme (30-50 ans)</i>	*	*	**	<i>Modèle climatique</i>
<i>Long terme (>50 ans)</i>		**	***	<i>Scénario d'émission et modèle climatique</i>

4.6 Techniques de mise à l'échelle

Les modèles climatiques globaux (MCG) simulent l'évolution du système climatique sur toute la planète, avec une résolution horizontale d'environ 100 à 300 km, pour des périodes pouvant aller jusqu'à des milliers d'années. Le temps de calcul nécessaire pour simuler le climat mondial à une résolution plus fine de quelques kilomètres ou mieux n'est généralement pas à la portée des ordinateurs actuellement les plus puissants. Cependant, le besoin essentiel d'obtenir des projections climatiques à une échelle plus fine pour des régions particulières a poussé les scientifiques à considérer des méthodes pour raffiner les simulations produites par les MCG. Il existe deux types principaux de techniques de mise à l'échelle, qui tablent tous les deux sur l'existence d'une simulation de haute qualité produite par un MCG (p. ex. ⁶⁵). Ces types sont :

Mise à l'échelle dynamique : cette approche utilise des modèles climatiques régionaux (MCR) qui, comme les MCG, sont basés sur une représentation réaliste des lois de la physique qui affectent le système climatique. De tels modèles sont utilisés pour raffiner la résolution horizontale du climat dans une région sélectionnée de la planète. Leur résolution plus fine (typiquement de 10 à 50 km) signifie que ces modèles peuvent développer des caractéristiques plus détaillées du climat, notamment car ils tirent profit d'une représentation beaucoup plus précise de la surface de la Terre (comme les montagnes, les contours côtiers et la présence de lacs et de rivières). Pour rester connecté au climat mondial, un MCR doit disposer dans sa périphérie de variables à grande échelle provenant d'un modèle sous-jacent, par exemple un MCG. Bien que coûteuse en temps de calcul, cette technique de mise à l'échelle assure la cohérence des variables climatiques dans le temps et l'espace. De plus, les modèles climatiques physiques comme les MCR et les MCG ont la capacité de simuler les interactions entre les aérosols et les gaz à effet de serre (des quantités qui sont régulées par les scénarios de changements futurs en émissions ou en concentrations) avec les autres composantes du système climatique.

Mise à l'échelle statistique : Cette approche est basée sur l'hypothèse que les caractéristiques du climat observé localement peuvent être dérivées d'une série de variables climatiques mondiales à grande échelle (des prédicteurs). Elle peut employer différentes techniques (régressions multiples, générateurs stochastiques, réseaux de neurones) qui sont utilisées pour établir des relations statistiques entre les conditions locales observées et les prédicteurs produits à partir des données sur le climat récent (p. ex. 1971-2000). La mise à l'échelle statistique d'une simulation de MCG du climat futur se base sur l'hypothèse que les relations statistiques établies pour le passé récent demeureront les mêmes pour le climat futur. Dans le contexte du changement climatique, cette hypothèse est problématique, car le climat n'est pas stationnaire et la validité de l'hypothèse est difficile à tester. De plus, puisque l'utilisation de la mise à l'échelle simultanément sur plusieurs variables climatiques présente encore un défi, les variables climatiques sont souvent traitées séparément, ce qui peut entraîner une perte de cohérence spatiotemporelle. Par contre, la mise à l'échelle statistique est une approche rapide et relativement abordable, lorsque comparée à la mise à l'échelle dynamique, et elle est plus facile à appliquer à des problèmes qui portent sur une seule variable.

4.6.1 Quand des techniques de mise à l'échelle devraient-elles être utilisées ?

L'idée que des données climatiques à une résolution plus fine sont meilleures peut être attrayante; cependant, **la mise à l'échelle ne donnera pas nécessairement de l'information plus utile au décideur. De plus, une résolution accrue du modèle n'assure pas une performance supérieure de celui-ci.** Plusieurs stratégies d'adaptation seront sans doute développées pour une région relativement petite (échelle locale), ce qui pourrait demander de l'information climatique à une résolution plus fine. Cependant, le changement moyen projeté au moyen d'un modèle climatique global sur une cellule de grille de 200 km peut ne pas être très différent de celui projeté lorsque l'échelle des données est réduite à 45 km (à partir d'un MCR) ou même à 10 km (au moyen

de la mise à l'échelle statistique), surtout étant donné les incertitudes qui affectent les projections de l'ensemble de modèles. **En d'autres termes, la mise à l'échelle peut ne pas améliorer la précision de l'information fournie.**

Avant de décider d'utiliser ou non de l'information à échelle réduite, la variable climatique à l'étude et les caractéristiques du paysage de la région choisie doivent être analysées. Les caractéristiques de surface comme la topographie, le littoral ou la proximité d'une étendue d'eau n'ont pas un effet uniforme sur les différentes variables climatiques, et cette influence peut aussi varier d'une saison à l'autre. Par exemple, la température de l'air en surface (et plusieurs des indices qui en sont dérivés) est généralement uniforme sur de vastes régions de terrain plat, mais varie brusquement près de la côte. Par contre, les précipitations tendent à être plus variables dans l'espace en général. Ainsi, dans le dernier cas, le choix de recourir à une technique de mise à l'échelle peut être préférable, mais il peut ne pas être nécessaire dans le cas où l'on s'intéresse à la température sur une vaste région. De plus, le temps additionnel requis pour générer l'information à une échelle plus fine n'est pas négligeable et doit être considéré. Ultimement, la raison pour laquelle l'information est nécessaire est également importante. La résolution des modèles climatiques globaux sera souvent suffisante pour les besoins des catégories de base et intermédiaire.

4.6.2 Mise à l'échelle dynamique ou statistique ?

Le choix de la méthode à utiliser n'est pas simple à déterminer. Un grand nombre de facteurs doivent être considérés par les fournisseurs de services climatiques pour décider de la méthode à utiliser. D'abord, avec les techniques de mise à l'échelle statistique, chaque variable climatique est généralement traitée de manière individuelle, ce qui peut briser la cohérence physique entre les variables. En d'autres termes, la représentation mathématique de la physique sous-jacente au climat dans le modèle climatique global peut ne pas demeurer vraie. Cela peut être important pour les utilisateurs qui ont besoin de plusieurs variables climatiques qui sont corrélées dans le monde réel. Par exemple, la température, les

précipitations et l'évapotranspiration seraient liées dans un MCR et les changements d'une variable affecteraient l'autre. Cependant, si une technique de mise à l'échelle statistique appliquée aux données affecte les relations entre les variables, cela pourrait causer des incohérences importantes dans les résultats. Certaines variables climatiques peuvent être plus sensibles que d'autres à ce problème.

La mise à l'échelle statistique est basée sur des relations statistiques entre les observations locales d'une variable à l'étude et d'autres variables climatiques de résolution plus grossière, utilisées comme prédicteurs. On fait l'hypothèse que ces relations statistiques sont constantes dans le temps, ce qui peut ne pas être vrai dans un climat soumis au changement. Cette hypothèse n'est peut-être pas trop problématique pour certaines variables dans des projections à court terme, mais l'incertitude est plus grande pour des projections pour la fin du siècle.

Enfin, actuellement, le nombre de modèles climatiques globaux dépasse de loin le nombre de modèles climatiques régionaux qui ont produit des simulations sur l'Amérique du Nord. Par conséquent, un plus grand nombre de projections peut être produit avec une technique de mise à l'échelle statistique à partir de MCG. Si cette offre est importante pour l'étude en cause, la mise à l'échelle statistique peut s'avérer le choix approprié. Si par contre un échantillon plus petit, mais construit plus soigneusement, suffit à la tâche, la technique de mise à l'échelle dynamique peut alors être privilégiée. Il convient de mentionner que la technique de mise à l'échelle statistique peut également être appliquée à des données de MCR à une résolution déjà élevée.

Notez que les facteurs énumérés ci-dessus soulignent la complexité du choix d'appliquer ou non une technique de mise à l'échelle et du choix de la technique elle-même. Il n'y a pas de bonne réponse *unique* à ces questions.

4.7 Techniques de post-traitement

Les sorties de modèle sont rarement utilisées « telles quelles », sans appliquer un post-traitement quelconque. Cette étape est habituellement requise afin de transformer des sorties brutes (ou même soumises à une technique de mise à l'échelle) en information climatique utilisable.

Il est important de comprendre que même si les modèles climatiques sont des représentations mathématiques du monde réel, ils comportent souvent un biais dans leur estimation des variables climatiques. Un modèle peut simuler des valeurs de température qui sont toujours supérieures à celles observées, alors qu'un autre peut souffrir du biais contraire. Comme expliqué plus tôt, cela est une des principales raisons d'inclure un grand nombre de simulations, afin que ce biais soit représenté dans les résultats.

Ce biais n'est généralement pas un problème lorsqu'on souhaite simplement calculer les changements relatifs entre un horizon futur et la période de référence (au moyen d'une méthode de delta ou de champ de changement). En effet, on suppose généralement que le biais dans les modèles disparaît lorsqu'on calcule le changement *relatif*, c'est-à-dire un delta, entre la période de référence simulée et le futur simulé (mais notez que cela n'est pas toujours le cas). Cependant, lorsqu'on calcule des valeurs simulées futures, en d'autres termes lorsqu'on applique aux observations le changement projeté par le modèle, les biais deviennent importants et doivent être corrigés.

De nombreuses techniques de post-traitement existent; leur description détaillée dépasse l'objectif de ce guide^{66,67}. Par contre, deux méthodes simples sont présentées ici en

exemple, afin de souligner l'objectif général des méthodes de post-traitement. Notez que le post-traitement peut être utilisé indépendamment des techniques de mise à l'échelle ou en combinaison avec celles-ci, ce qui provoque souvent une certaine confusion entre les deux concepts

4.7.1 Méthodes de delta / mise à l'échelle

Cette méthode utilise une perturbation des données climatiques observées selon le changement relatif entre la période de référence simulée et la période future simulée d'une simulation donnée. Les changements relatifs sont d'abord calculés entre les périodes actuelles et futures (selon les conditions moyennes ou encore les quantiles de la distribution). Ces changements sont ensuite appliqués aux séries temporelles observées avec une valeur unique de changement dans le cas de perturbation moyenne, ou par quantiles correspondants.

4.7.2 Correction de biais

Cette méthode utilise un réglage ou une correction de la série temporelle simulée au complet (périodes de référence et future) au moyen d'un facteur de biais ou de correction, tel que les données de la période de référence simulée et les observations deviennent plus équivalentes. Le facteur de correction est calculé à partir d'une comparaison entre la période de référence simulée et les données observées. Ici aussi, cela peut être basé sur une correction moyenne ou sur les quantiles. Le biais est ensuite retiré dans son ensemble de la série simulée.

5. MESSAGES IMPORTANTS POUR L'INTERPRÉTATION ET L'UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE

- Prenez le temps de bien évaluer vos besoins en matière d'information climatique.
- Choisissez le produit et le format d'information les plus appropriés pour vous assurer que l'information climatique est bien comprise et utilisée.
- Les trois catégories d'information climatique sont également précieuses; l'information de base peut servir à la prise de décision aussi bien que l'information détaillée.
- Les interactions avec les fournisseurs de services climatiques sont de la plus haute importance tout au long du processus de planification ou de décision; veillez à ce que le fournisseur comprenne vos problèmes.
- Obtenez des conseils et du soutien auprès des fournisseurs de services climatiques ou des organisations frontières, si le niveau de complexité de l'information recherchée dépasse les capacités actuelles de votre organisation.
- La même information climatique peut être présentée ou personnalisée au moyen de différents formats. Collaborez avec les fournisseurs de services climatiques pour trouver un format qui vous convient le mieux.
- Contextualisez les changements attendus ou les valeurs futures : combinez-les aux normales climatiques de la période de référence et comparez-les avec la variabilité du climat.
- Ne vous fiez pas seulement au scénario moyen ou médian; la plage (c.-à-d. l'incertitude) dans les projections de modèle doit toujours être considérée.
- Comprenez les limites des données utilisées et assurez-vous d'interpréter l'information adéquatement.
- La variabilité du climat est une information précieuse pour les décideurs.
- L'utilisation d'un ensemble de simulations est cruciale : le *meilleur* scénario n'existe pas.
- Une résolution spatiale plus fine n'est pas toujours requise et ne donne pas toujours une meilleure information.
- L'importance relative des sources d'incertitude varie au fil du temps et affecte donc différemment le processus de prise de décision selon le moment.

LISTE D'ACRONYMES

CMIP		Coupled Model Intercomparison Project
DJF		Hiver : décembre, janvier, février
GES		Gaz à effet de serre
GIEC		Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ICLEI		Conseil international pour les initiatives écologiques communales
JJA		Été : juin, juillet, août
MAM		Printemps : mars, avril, mai
MCG		Modèle climatique global
MCR		Modèle climatique régional
MRCC		Modèle régional canadien du climat
OCCIAR		Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources
OMM		Organisation météorologique mondiale
PCIC		Pacific Climate Impacts Consortium
RCP		Representative Concentration Pathway (trajectoire de concentration représentative)
RNCan		Ressources naturelles Canada
SON		Automne : septembre, octobre, novembre
SRES		Rapport spécial sur les scénarios d'émissions
TVE		Théorie de valeur extrême
VEG		Valeur extrême généralisée

GLOSSAIRE

Adaptation : Initiatives et mesures pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets du changement climatique présent ou attendu.

Adaptation climatique : Processus qui mène à une réduction des dommages ou des risques de dommages, ou à l'atteinte de bienfaits, associés à la variabilité et au changement climatique.

Aérosols : Ensemble de particules solides et liquides dans l'air qui demeurent dans l'atmosphère pendant au moins plusieurs heures. Elles peuvent être de source naturelle ou anthropique et influencer le climat de différentes manières : directement en dispersant et en absorbant les radiations, et indirectement en agissant comme noyaux de condensation des nuages modifiant ainsi les propriétés optiques et la durée de vie des nuages.

Analogues : Les analogues climatiques sont un type de scénarios climatiques construit en déterminant un régime climatique observé qui ressemble au climat futur d'une région à l'étude. Les régimes climatiques peuvent être obtenus du passé (analogues temporels) ou d'une autre région actuelle (analogues spatiaux).

Anomalies : Les anomalies représentent la différence entre la valeur d'une variable climatique pour une année ou saison donnée et la valeur moyenne pour la période de référence.

Base de référence : Une quantité mesurable à partir de laquelle d'autres résultats peuvent être estimés. Voir « **Période de référence** ».

Capacité d'adaptation : Capacité d'un système à mettre en œuvre des mesures d'adaptation au changement climatique (y compris la variabilité et les extrêmes du climat).

Champs de changement : Voir « **Delta** ».

Changement climatique : Augmentation ou diminution continues à long terme de variables climatiques (comme la température et les précipitations moyennes sur 30 ans).

Consensus : Le terme est utilisé pour désigner l'accord entre modèles. Le consensus représente la proportion des éléments d'un ensemble de simulations qui « s'entendent » sur le signe (positif ou négatif) du changement projeté.

Delta : Le changement relatif d'une variable climatique entre la période future et la période ou base de référence, telles que simulées par un modèle climatique.

Échelle – spatiale et temporelle : Le climat peut varier sur une vaste gamme d'échelles spatiales et temporelles. L'échelle spatiale peut aller de l'échelle locale (comme une ville) à régionale (comme une province) à continentale ou globale. Les échelles temporelles peuvent être mensuelles, saisonnières, géologiques, etc.

Ensemble : Ce terme est utilisé dans ce guide pour désigner l'ensemble complet de simulations climatiques ou scénarios climatiques utilisé pour une étude particulière. Il est utilisé de manière interchangeable avec le terme « ensemble multimodèle ». Notez cependant que d'autres définitions plus restreintes existent (par exemple, un ensemble peut représenter un groupe de simulations réalisées avec le même modèle climatique et le même scénario d'émissions, mais initialisées avec des conditions initiales différentes).

Évaluation du risque : Processus par lequel les conséquences et les risques sont déterminés et caractérisés de manière qualitative ou quantitative.

Forçage radiatif : Le changement d'éclairement énergétique net (descendant moins montant), exprimé en W/m^2 , à la tropopause, à cause d'un changement dans un facteur externe du changement climatique, comme un changement dans la concentration de dioxyde de carbone ou du rayonnement provenant du Soleil.

Fournisseur de services climatiques : Une organisation publique ou privée qui fournit de l'information climatique à des utilisateurs. Les rôles de ces organisations peuvent être de fournir des données climatiques historiques, d'exécuter des simulations climatiques et de personnaliser les sorties de ces dernières pour correspondre aux besoins d'utilisateurs individuels.

Gaz à effet de serre (GES) : Composantes gazeuses de l'atmosphère, tant naturelles qu'anthropiques, qui absorbent et émettent des radiations à des longueurs d'onde particulières et qui causent l'effet de serre. Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), l'oxyde nitreux (N_2O), le méthane (CH_4) et l'ozone (O_3).

Génération : Ce terme est utilisé dans ce guide pour désigner les ensembles de modèles climatiques globaux issus d'un projet Coupled Model Intercomparison Project particulier, comme CMIP3 ou CMIP5.

Grille (points de grille) : Les « cellules » d'un modèle discret qui représentent les unités de calcul d'un modèle climatique. Les grilles de modèle les plus simples divisent habituellement la planète (ou le domaine du modèle) en cellules de grille à angle constant (c.-à-d. une grille à latitude/longitude). La résolution horizontale d'un modèle climatique est souvent exprimée par la taille d'une seule cellule de grille (p. ex. une grille de $1^\circ \times 1^\circ$ ou de 10 km sur 10 km).

Horizon : Une période future à l'étude, dont les sorties de simulations climatiques sont examinées ou pour laquelle les scénarios futurs sont produits. La communauté de climatologie tend à converger vers les horizons temporels communs qui sont recommandés par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Ces horizons couvrent typiquement des périodes de 20 ou de 30 ans. Par exemple, l'horizon 2050 correspond souvent aux années 2041-2070.

Incertitude : L'incertitude exprime à quel point une valeur (p. ex. l'état futur du système climatique) est inconnue. L'incertitude peut provenir du manque d'information ou d'un désaccord sur ce qui est connu ou même connaissable. Elle peut avoir plusieurs sources, allant d'erreurs quantifiables dans les données jusqu'à des concepts ou une terminologie définis de manière ambiguë, en passant par des projections incertaines du comportement humain.

Indice : Le terme « indice » (climatique) désigne des propriétés du climat qui ne sont pas mesurées sur le terrain ou calculées par les modèles climatiques, mais qui sont plutôt calculées ou dérivées de variables climatiques plus simples comme la température et les précipitations. Des exemples sont le nombre des degrés-jours de croissance, les cycles de gel-dégel et l'indice de sécheresse. (Voir « **Variable** ».)

Information climatique : Ce terme est utilisé dans ce guide pour désigner les données climatiques qui décrivent soit les conditions du passé (obtenues de stations météorologiques), soit celles du futur (obtenues de sorties de modèles climatiques).

Mise à l'échelle : Une méthode qui permet à la sortie de modèle climatique d'être fournie à une résolution plus fine que celle généralement obtenue des modèles climatiques globaux. Deux approches différentes sont priorisées : la mise à l'échelle statistique et la mise à l'échelle dynamique (voir la section 4 pour plus de détail sur ces deux méthodes).

Mitigation : Une substitution ou changement technologique qui vise à réduire les sources et émissions de gaz à effet de serre, et qui améliore les puits de GES.

Modèle climatique : Représentation numérique du système climatique, basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes, leurs interactions et leurs processus de rétroaction, et qui représentent certaines ou toutes ses propriétés connues.

Modèle climatique global (MCG) : Modèle informatique qui constitue une représentation mathématique du système climatique, basée sur des équations qui gouvernent les processus physiques sous-jacents au climat, y compris le rôle de l'atmosphère, de l'hydrosphère, de la biosphère, etc. Il représente un outil unique qui aide à reproduire un ensemble complexe de processus pertinents pour l'évolution du climat. Notez que le terme modèle de circulation globale est souvent utilisé comme synonyme.

Modèle climatique régional (MCR) : Tout comme un MCG, le modèle climatique régional est une représentation mathématique du système climatique, basée sur des équations qui décrivent les processus physiques sous-jacents au climat. Cela comprend les processus et les caractéristiques de l'atmosphère, de la lithosphère, de l'hydrosphère, de la cryosphère et de la biosphère. Les MCR ont une résolution plus fine que les MCG. Les MCR sont typiquement des modèles « à domaine limité », c'est-à-dire qui ne couvrent qu'une partie de la planète.

Normales : Voir « Normales climatiques ».

Normales climatiques : La moyenne des conditions météorologiques, telle que calculée à partir d'observations sur un intervalle de temps historique de 30 ans, définissant les conditions « typiques » d'une région donnée. Notez que les normales climatiques sont habituellement données pour des intervalles qui correspondent à la période de référence.

Option (d'adaptation) « sans regret » : Une mesure d'adaptation qui serait la plus justifiée dans tous les scénarios futurs plausibles.

Organisation frontière : Organisations qui facilitent l'échange de connaissances entre les domaines scientifiques et d'élaboration de politiques.

Période de référence : En pratique, elle désigne souvent une période du passé récent utilisée au moment de la production de scénarios climatiques. Les valeurs de période future produites par les modèles climatiques sont comparées aux valeurs de cette période, afin d'évaluer les changements. L'OMM recommande des intervalles de 30 ans comme période de référence, par exemple 1971-2000. Il existe cependant des exceptions. Par exemple, la période de référence actuelle utilisée par le GIEC est 1985-2005. Un synonyme est « base de référence ». Ainsi, les termes « scénario de référence » ou « scénario de base de référence » désignent les scénarios climatiques pour une période de référence.

Période de retour : Le temps moyen attendu entre des occurrences qui sont égales ou supérieures à un seuil particulier. Elle est souvent utilisée pour exprimer la fréquence d'occurrences d'un événement (fréquence = 1/période de retour).

Plage : Ce terme est utilisé pour désigner le spectre de données de sortie d'un ensemble de simulations ou de scénarios.

Polygone : Voir « Grille ».

Projection climatique : Les projections représentent la partie future des simulations de modèles climatiques. Elles sont basées sur des hypothèses portant notamment sur les développements socioéconomiques et technologiques futurs qui peuvent ou non se produire et sont donc soumis à l'incertitude.

Réanalyse : Les réanalyses sont des estimations des températures océaniques et atmosphériques historiques, des vents, des courants et d'autres quantités météorologiques et océanographiques, créées en traitant des données passées météorologiques et océanographiques au moyen de modèles fixes sophistiqués de prévision du temps et de techniques d'assimilation de données. Elles permettent l'analyse de nombreuses variables climatiques et sont également utilisées pour valider les MCR et les MCG dans le climat actuel et pour piloter les simulations de MCR.

Résilience : La capacité d'un système social ou écologique à absorber les perturbations tout en conservant la même structure et les mêmes fonctions de base, ainsi que la capacité à se remettre d'un impact qui peut avoir causé des dommages.

Résolution : Dans les modèles climatiques, ce terme désigne la distance physique (en mètres ou en degrés) entre chaque point de la grille utilisée pour résoudre les équations. La résolution temporelle désigne le pas de temps (l'intervalle) entre chaque calcul d'équations dans le modèle. Voir « **Grille** ».

Risque : La probabilité (d'occurrence) qu'un événement se produise, ainsi que ses conséquences lorsque le résultat est incertain.

Scénario : Voir « **Scénario climatique** »

Scénario climatique : Une description cohérente (y compris de manière interne) du changement climatique pour une période donnée du futur, au moyen d'une technique de modélisation particulière et d'hypothèses précises à propos de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre et d'autres facteurs qui peuvent influencer le climat futur. Les projections climatiques servent de matériau brut pour construire des scénarios climatiques, mais ces derniers exigent souvent de l'information additionnelle, comme le climat actuel observé.

Scénario d'émission : Une représentation plausible du développement futur des émissions de substances à effet radiatif potentiel dans l'atmosphère, comme les gaz à effet de serre et les aérosols. Ces scénarios sont basés sur des hypothèses quant aux forces sous-jacentes, comme le développement socioéconomique et démographique ou le changement technologique.

Scénarios SRES : L'expression « SRES » signifie « Special Report on Emissions Scenarios » (« Rapport spécial sur les scénarios d'émissions »). Il s'agit de scénarios d'émissions développés par Nakićenovič et Swart (2000) et utilisés notamment comme base pour certaines des projections climatiques du quatrième rapport d'évaluation du GIEC.

Scénario synthétique : Une manière de construire des climats futurs sans avoir recours à des modèles climatiques. Les scénarios sont construits en modifiant les paramètres météorologiques d'une série temporelle par des quantités incrémentales, qui sont partiellement basées sur des sorties de MCG, des reconstructions du climat passé ou l'opinion des experts.

Sensibilité : Le changement (dans une variable ou un système) causé par une perturbation particulière d'un paramètre, d'une entrée ou d'une hypothèse. La sensibilité du climat désigne à quel point un système serait affecté positivement ou négativement par un stimulus lié au climat (p. ex. forçage radiatif). Par exemple, la sensibilité d'un modèle climatique peut être estimée en calculant ses augmentations projetées de température pour une hausse donnée de la concentration en CO₂.

Simulation climatique : Les simulations climatiques représentent le résultat de l'exécution d'un modèle climatique pendant une certaine période de temps. La durée d'une simulation peut varier de quelques années à des milliers d'années; et la simulation sera calculée itérativement à des intervalles de quelques minutes. Elles sont exécutées tant pour le passé que pour le futur.

Statistique climatique : Les statistiques utilisées pour décrire l'état du système climatique ou l'une de ses composantes. Des exemples comprennent les valeurs moyennes, le nombre d'occurrences ou la fréquence des extrêmes, ou les écarts types.

Trajectoire de concentration représentative (RCP) : Scénarios qui comprennent des séries temporelles d'émissions et de concentrations de la gamme complète de gaz à effet de serre et d'aérosols de même que des gaz chimiquement actifs et de l'utilisation des terres. Le mot « représentative » signifie que chaque RCP fournit seulement un des nombreux scénarios possibles qui mèneraient aux caractéristiques particulières de forçage radiatif. Quatre RCP ont été sélectionnées comme base des projections climatiques utilisées dans le cinquième rapport d'évaluation publié par le GIEC.

Variable : Le terme « variable climatique » désigne une variable qui peut être mesurée directement sur le terrain (p. ex. par les stations météorologiques) ou calculée par des modèles climatiques. (Voir « **Indice** ».)

Variabilité : Voir « **Variabilité climatique** ».

Variabilité climatique : Variations au-dessus ou au-dessous d'un état moyen à long terme du climat. Cette variabilité peut être causée par des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne) ou par des variations dans le forçage externe anthropique (variabilité externe).

Variabilité naturelle : Composante de l'incertitude générale, issue de l'imprévisibilité et du caractère aléatoire qui sont intrinsèques au climat. Elle est caractérisée par le suivi des observations et peut être étudiée par les conditions initiales d'un ensemble.

Vulnérabilité : Ce terme désigne à quel point un système est sensible aux effets nuisibles du changement climatique et est incapable de les absorber. La vulnérabilité est une fonction de la nature, de la magnitude et du taux de changement auquel le système est soumis, ainsi que de la sensibilité et de la capacité d'adaptation de ce système.

Références pour ce glossaire :

IPCC, 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA..

IPCC, 2014: Annex XX: Glossary [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and T.E. Bilir (eds.)]. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [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, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Nakićenović, N., and R. Swart (eds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

EXEMPLES DE SOURCES SUPPLÉMENTAIRES D'INFORMATION

Notez que cette liste n'est pas une liste exhaustive des fournisseurs d'information climatique au Canada mais suggère plutôt différents exemples de ce qui est disponible sur le web. En outre, alors que la liste ne comprend que des fournisseurs publics, nous reconnaissons que des organismes privés peuvent également fournir un précieux soutien aux usagers.

Environnement Canada

Données Climatiques Nationales

http://climat.meteo.gc.ca/index_f.html

Données climatiques Canadiennes Ajustées et Homogénéisées (DCCA)

Ce site offre des données climatiques ajustées et homogénéisées pour plusieurs stations climatologiques au Canada.

www.ec.gc.ca/dccha-ahccd

Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique

Ce site offre de l'information sur les modèles canadien global and régional ainsi que des projections futures.

www.cccma.ec.gc.ca

Réseau canadien des scénarios de changements climatiques

Ce site offre différents formats pour visualiser des scénarios climatiques futurs pour le Canada.

<http://www.cccsn.ec.gc.ca/index.php?page=main&lang=fr>

Tendances et variations climatiques

Ce site résume des tendances passées dans un contexte historique de climat.

<http://www.ec.gc.ca/adsc-cmda/>

Le modèle régional canadien du climat (MRCC)

<http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/default.asp?lang=Fr&n=82DD0FCC-1>

Pacific Climate Impacts Consortium

Plan2Adapt

Ce site offre des cartes, graphiques et données décrivant les conditions projetées en Colombie-Britannique.

<http://www.plan2adapt.ca/>

Gouvernement du Québec – Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques

Surveillance du climat

Ce site offre des normales climatiques (1981-2010), des tendances de température (1961-2010), ainsi que des données journalières du climat pour le Québec.

<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/surveillance/index.asp>

North American Regional Climate Change Assessment Program

Ce site est dédié à la production de simulations climatique de haute résolution en Amérique du Nord.

<http://www.narccap.ucar.edu/about/index.html>

RÉFÉRENCES

1. Feenstra, J., Burton, I., Smith, J. B. & Tol, R. S. J. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. (1998).
2. Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O. & Schipper, E. L. From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Clim. Policy* **2**, 145–159 (2002).
3. Carter, T. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment- Version 2. (2007).
4. Bizikova, L., Neale, T. & Burton, I. *Canadian communities' guidebook for adaptation to climate change. Including an approach to generate mitigation co-benefits in the context of sustainable development*. 104 (Environment Canada and University of British Columbia, 2008).
5. Pearce, C. & Callihoo, C. *Pathways to Climate Change Resilience*. 80 (2011).
6. OCCIAR. *A Practitioner's Guide to Climate Change Adaptation in Ontario's Ecosystems*. 0–74 (2011). at <www.climateontario.ca>
7. OCCIAR. *Adaptation Planning in Eastern Ontario*. (2012). at <www.climateontario.ca>
8. ICLEI. *Changing Climate , Changing Communities: Guide and Workbook for Municipal Climate Adaptation*. (2010).
9. IPCC. *FINAL DRAFT IPCC WGII AR5 Chapter 2*. 1–53 (2014).
10. Parson, E. a. Useful global-change scenarios: current issues and challenges. *Environ. Res. Lett.* **3**, 045016 (2008).
11. Lemos, M. C. & Morehouse, B. J. The co-production of science and policy in integrated climate assessments. *Glob. Environ. Chang.* **15**, 57–68 (2005).
12. Lemos, M. C. & Rood, R. B. Climate projections and their impact on policy and practice. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **1**, 670–682 (2010).
13. Smit, B. & Wandel, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* **16**, 282–292 (2006).
14. Willows, R. I. & Connel, R. K. (Eds. *Climate adaptation: Risk , uncertainty and decision-making*. (2003).
15. Lu, X. *Guidance on the Development of Regional Climate scenarios for Vulnerability and Adaptation Assessments*. 50 (2006).
16. Hutchinson, M. F. et al. Development and Testing of Canada-Wide Interpolated Spatial Models of Daily Minimum–Maximum Temperature and Precipitation for 1961–2003. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **48**, 725–741 (2009).
17. Mekis, É. & Vincent, L. A. An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada. *Atmosphere-Ocean* **49**, 163–177 (2011).
18. IPCC. in *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.* (Stocker, T. F. et al.) (Cambridge University Press, 2013).
19. Richardson, G. R. A. & Otero, J. *Land use planning tools for local adaptation to climate change*. (2012).

20. Ramirez-Villegas, J. et al. *Climate Analogues: Finding tomorrow's agriculture today*. (2011).
21. Grenier, P., Parent, A.-C., Huard, D., Anctil, F. & Chaumont, D. An Assessment of Six Dissimilarity Metrics for Climate Analogs. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **52**, 733–752 (2013).
22. Veloz, S. et al. Identifying climatic analogs for Wisconsin under 21st-century climate-change scenarios. *Clim. Change* **112**, 1037–1058 (2011).
23. Williams, J. W., Jackson, S. T. & Kutzbach, J. E. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **104**, 5738–42 (2007).
24. Kopf, S., Ha-Duong, M. & Hallegatte, S. Using maps of city analogues to display and interpret climate change scenarios and their uncertainty. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **8**, 905–918 (2008).
25. Ford, J. D. et al. Case study and analogue methodologies in climate change vulnerability research. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **1**, 374–392 (2010).
26. Gagnon, A. E. et al. *Études de cas pour faciliter une gestion efficace des ennemis des cultures dans le contexte de l'augmentation des risques phytosanitaires liés aux changements climatiques*. (2013).
27. Chakraborty, S. & Newton, A. C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathol.* **60**, 2–14 (2011).
28. Picketts, I. M., Werner, A. T. & Murdock, T. Q. *Climate Change in Prince George - Summary of past trends and future projections*. (2009).
29. Picketts, I. M. et al. Planning for climate change adaptation: lessons learned from a community-based workshop. *Environ. Sci. Policy* **17**, 82–93 (2012).
30. Houle, D. et al. *Analyse des impacts des changements climatiques sur la production de sirop d'érable au Québec et solutions d'adaptation*. 1–134 (2013).
31. Michaud, A. et al. *Mise à jour des normes et procédures de conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques*. (2013).
32. Braun, M., Casati, B. & de Elía, R. *Évolution des conditions climatiques au Québec : Tendances des extrêmes hivernaux froids de la température quotidienne moyenne à des fins de prévision de la demande d'électricité au Québec*. 15 (2013).
33. Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X. & Hegerl, G. C. Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the IPCC Ensemble of Global Coupled Model Simulations. *J. Clim.* **20**, 1419–1444 (2007).
34. Casati, B. & de Elía, R. Temperature Extremes from Canadian Regional Climate Model (CRCM) Climate Change Projections. *Atmosphere-Ocean* 1–20 (2014). doi:10.1080/07055900.2014.886179
35. Kjellström, E. et al. Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. *Clim. Change* **81**, 249–265 (2007).
36. Sillmann, J., Kharin, V. V., Zhang, X., Zwiers, F. W. & Bronaugh, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Res. Atmos.* **118**, 1716–1733 (2013).

37. Thomas, I. et al. *Analyser la vulnérabilité sociétale et territoriale aux inondations en milieu urbain dans le contexte des changements climatiques, en prenant comme cas d'étude la Ville de Montréal*. (2012).
38. Savard, J. et al. *Étude du régime des tempêtes dans le Nunavik*. (2013).
39. Sinclair, M. R. Objective Identification of Cyclones and Their Circulation Intensity, and Climatology. *Weather Forecast.* **12**, 595–612 (1997).
40. IPCC. in *Clim. Chang. 2013 Phys. Sci. Basis. Contrib. Work. Gr. I to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.* (Stocker, T. F. et al.) (Cambridge University Press, 2013).
41. IPCC. in *Clim. Chang. 2014 Impacts, Adapt. Vulnerability. Part B Reg. Asp. Contrib. Work. Gr. II to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.* (Barros, V. R. et al.) (Cambridge University Press, 2014).
42. IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Change **446**, 73 (Cambridge University Press, 2007).
43. IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1535 (Cambridge University Press, 2013).
44. IPCC. *Special Report on Emissions Scenarios*. 570 (Cambridge University Press, 2000).
45. IPCC. *Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Assessment 34* (2001). at <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/vol4/english/index.htm>
46. Rogelj, J., Meinshausen, M. & Knutti, R. Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nat. Clim. Chang.* **2**, 248–253 (2012).
47. Knutti, R., Masson, D. & Gettelman, A. Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophys. Res. Lett.* **40**, 1194–1199 (2013).
48. Markovic, M., Elia, R., Frigon, A. & Matthews, H. D. A transition from CMIP3 to CMIP5 for climate information providers: the case of surface temperature over eastern North America. *Clim. Change* **120**, 197–210 (2013).
49. McSweeney, C. F. & Jones, R. G. No consensus on consensus: the challenge of finding a universal approach to measuring and mapping ensemble consistency in GCM projections. *Clim. Change* **119**, 617–629 (2013).
50. Sheffield, J. et al. North American Climate in CMIP5 Experiments. Part I: Evaluation of Historical Simulations of Continental and Regional Climatology*. *J. Clim.* **26**, 9209–9245 (2013).
51. Sheffield, J. et al. North American Climate in CMIP5 Experiments. Part II: Evaluation of Historical Simulations of Intraseasonal to Decadal Variability. *J. Clim.* **26**, 9247–9290 (2013).
52. Knutti, R. & Sedláček, J. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nat. Clim. Chang.* **3**, 369–373 (2012).
53. Gleckler, P. J., Taylor, K. E. & Doutriaux, C. Performance metrics for climate models. *J. Geophys. Res.* **113**, D06104 (2008).

54. Lockwood, M., Harrison, R. G., Woollings, T. & Solanki, S. K. Are cold winters in Europe associated with low solar activity? *Environ. Res. Lett.* **5**, 024001 (2010).
55. Scaife, A. A., Knight, J. R., Vallis, G. K. & Folland, C. K. A stratospheric influence on the winter NAO and North Atlantic surface climate. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L18715 (2005).
56. Sutton, R. T. & Hodson, D. L. R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science* (80-). **309**, 115–8 (2005).
57. Mote, P., Brekke, L. & Duffy, P. Guidelines for Constructing Climate Scenarios. (2007). doi:10.1007/s00703
58. Murdock, T. Q. & Spittlehouse, D. L. *Selecting and Using Climate Change Scenarios for British Columbia*. *Environment* **39** (2011).
59. Hawkins, E. & Sutton, R. The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **90**, 1095–1107 (2009).
60. Hawkins, E. Our evolving climate : communicating the effects of climate variability. *Weather* **66**, 175–179 (2011).
61. Hawkins, E. & Sutton, R. The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Clim. Dyn.* **37**, 407–418 (2011).
62. Smith, D. M. et al. Improved surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. *Science* (80-). **317**, 796–9 (2007).
63. Cox, P. & Stephenson, D. Climate change. A changing climate for prediction. *Science* **317**, 207–8 (2007).
64. Knutti, R. et al. A Review of Uncertainties in Global Temperature Projections over the Twenty-First Century. *J. Clim.* **21**, 2651–2663 (2008).
65. Mearns, L. O. et al. Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. (2003).
66. Themeßl, M. J., Gobiet, A. & Heinrich, G. Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. *Clim. Change* **112**, 449–468 (2011).
67. Mpelasoka, F. S. & Chiew, F. H. S. Influence of Rainfall Scenario Construction Methods on Runoff Projections. *J. Hydrometeorol.* **10**, 1168–1183 (2009).