




GUIDE SUR LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

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

ÉDITION 2016



Citation suggérée : CHARRON, I. (2016) Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation, Édition 2016. Ouranos, 94 p.

ISBN (Impression): 978-8-923292-26-7
ISBN (PDF en ligne): 978-2-923292-27-4

Des exemplaires de ce guide peuvent être téléchargés sur le site
www.ouranos.ca

Juillet 2016

Avec le support de Ressources Naturelles Canada à travers la Plateforme d'adaptation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



550 Sherbrooke Ouest
19^e étage Montreal (Québec)
H3A 1B9, Canada
Tél: 514 282-6464
Fax: 514 282-7131
www.ouranos.ca

REMERCIEMENTS

Un grand nombre de collaborateurs ont fourni de précieux commentaires sur les première et seconde versions de ce guide :

- › Valérie Bourdas Crouhen, Dominique Paquin, Travis Logan, Diane Chaumont, Caroline Larrivée, Hélène Côté, Marco Braun, David Huard, Patrick Grenier, and Ramón deElía (Ouranos)
- › René Pigeon, Don Lemmen, Mary-Ann Wilson, Pamela Kertland, John Sommerville, Liam Miller, and David Price (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, Xuebin Zhang, Kevin Anderson and Benita Tam (Environment Canada)
- › Dave Spittlehouse (BC Provincial Government)
- › Éric 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)

Pour cette réédition, un grand nombre d'organisations et d'individus ont contribué à organiser des ateliers et des séminaires qui ont servi à obtenir des commentaires et à revoir l'information présentée dans cette nouvelle version :

- › ICLEI
- › Ontario Climate Commissioner
- › Ontario Ministry of the Environment and Climate Change
- › Manitoba Hydro
- › Manitoba Government
- › Forestry Community of Practice
- › Forestry Adaptation working group (NRCan)
- › Association minière du Québec

Nous remercions particulièrement Travis Logan (Ouranos) pour la production d'un grand nombre de cartes et de figures qui apparaissent dans le guide, Valérie Bourduas Crouhen pour la mise en forme du guide et son appui pour la préparation d'ateliers et Émilie C. Paquette pour la conception du document.

AVANT-PROPOS

La première édition du *Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation* a été publiée à l'automne 2014 et ce guide s'est depuis avéré un outil de référence utile pour la communauté d'adaptation aux changements climatiques et pour ceux qui doivent communiquer de l'information climatique aux décideurs. Depuis sa publication, le guide a fait l'objet de nombreuses présentations à travers plusieurs conférences, séminaires et webinaires. Il a également été testé par le biais d'une série d'ateliers avec des utilisateurs de différents secteurs d'activité. Un grand nombre de ces présentations et ateliers ont été conçus afin de mieux comprendre comment le document était utilisé et avaient pour but d'obtenir des commentaires sur le contenu présenté dans le guide. Cette nouvelle version du guide sur les scénarios climatiques a été modifiée en fonction des commentaires obtenus par les utilisateurs tout au long de ce processus.

Le premier guide ainsi que cette mise à jour ont été financés 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 était un besoin important pour la prise de décision liée à l'adaptation, qui s'appuiera 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 du changement climatique.

Les utilisateurs de ce guide sont invités à envoyer leurs questions et commentaires à Isabelle Charron charron.isabelle@ouranos.ca.

RÉSUMÉ

Les changements climatiques sont indéniables. 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 liés aux changements climatiques. 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. Toutefois, étant donné la complexité de la science du climat et sa constante évolution, l'information climatique reste difficile à comprendre pour un grand nombre d'utilisateurs.

Il y a un besoin clair pour les fournisseurs d'information climatique de déterminer différentes façons de présenter l'information de manière à engager les décideurs de différents secteurs. Le transfert de connaissances entre les scientifiques du climat et les usagers doit inclure l'information climatique, mais aussi des discussions sur la manière dont l'information climatique est produite et sur les incertitudes qui y sont associées. Ces incertitudes sont souvent considérées comme des barrières à l'adaptation. Cependant, une meilleure compréhension de celles-ci, et plus particulièrement, une meilleure compréhension de la façon dont elles affectent l'interprétation des impacts futurs peut diminuer certains des défis associés à l'information climatique.

Ce guide a été développé pour aborder les principaux défis auxquels les praticiens de l'adaptation aux changements climatiques font face lorsqu'ils utilisent de l'information climatique. Les objectifs principaux sont d'augmenter la compréhension de l'information climatique, de favoriser une meilleure évaluation des besoins en information climatique ainsi que de développer le sens critique des usagers face à l'information climatique qui leur est fournie.

Ce guide est surtout utile pour un utilisateur qui possède une expérience limitée avec l'information climatique puisque le guide offre une introduction générale de plusieurs concepts liés aux changements climatiques et à la production de scénarios climatiques. Comme la science du climat est un sujet complexe, le guide illustre également l'importance de collaborer avec les fournisseurs d'information climatique et permettra une meilleure coopération entre ces derniers et les utilisateurs.

Pour les utilisateurs plus familiers avec l'information climatique, ou ceux qui utilisent régulièrement des données climatiques, ce guide les aidera à identifier des façons de mieux présenter leurs résultats en fonction de l'auditoire visé. En effet, les utilisateurs qui sont très à l'aise avec l'information climatique doivent souvent traduire cette information pour des décideurs qui sont beaucoup moins à l'aise avec ce genre d'information.

Ce guide est divisé en cinq chapitres. Le **Chapitre 1** fournit des fiches techniques sur les différents concepts clés reliés à la modélisation du climat. Cette section aide les utilisateurs à se familiariser avec le langage spécifique de la science du climat, ce qui est nécessaire afin de mieux comprendre l'information climatique. Le **Chapitre 2** décrit un cadre avec lequel il est possible de catégoriser l'information climatique en termes d'utilité et de complexité en trois catégories distinctes : de base, intermédiaire et détaillée. Cette section est composée d'une approche par arbre de décision qui aide les utilisateurs à formuler leurs besoins en information climatique. Le **Chapitre 3** est un catalogue des formats d'information climatique qui peuvent être associés à une des catégories identifiées dans le chapitre précédent. Cette section décrit comment l'information climatique peut être fournie à différents utilisateurs en fonction de leur niveau d'expertise et de leurs préférences. Le **Chapitre 4** décrit les meilleures pratiques d'utilisation de l'information climatique tout en prenant compte des incertitudes. Le **Chapitre 5** illustre des études de cas sur la façon dont l'information climatique peut être utilisée pour guider des décisions en adaptation aux changements climatiques.

MESSAGES CLÉS

POUR L'INTERPRÉTATION ET L'UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE

- › Prenez le temps de bien évaluer vos besoins en matière d'information climatique.
- › 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 enjeux.
- › Obtenez des conseils et du soutien des fournisseurs de services climatiques ou des organisations frontalières 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.
- › Choisissez le produit et le format d'information les plus appropriés pour vous assurer que l'information climatique est bien comprise et, par conséquent, utilisée efficacement.
- › Les trois catégories d'information climatique peuvent être tout aussi valables - l'information de base peut servir à la prise de décision aussi bien que l'information détaillée.
- › Ne vous fiez pas seulement au scénario moyen ou médian - la plage (c.-à-d. l'incertitude) dans les projections des modèles doit toujours être considérée.
- › Le meilleur scénario n'existe pas - l'utilisation d'un ensemble de simulations est cruciale.
- › Comprenez les limites des données utilisées et assurez-vous d'interpréter l'information adéquatement.
- › La variabilité naturelle du climat est une information précieuse pour les décideurs – utilisez-la afin de contextualiser les changements attendus ou les valeurs futures.
- › 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 l'horizon de planification.

SIGLES ET 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



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
LE BESOIN D'UN TEL GUIDE	2
DÉFINITION DE L'ADAPTATION ET DU DÉCIDEUR	2
PUBLIC CIBLE	4
OBJECTIFS	4
COMMENT UTILISER LE GUIDE	4
CHAPITRE UN - CONCEPT EN MODÉLISATION CLIMATIQUE	6
1.1 VARIABILITÉ CLIMATIQUE NATURELLE	7
1.2 CHANGEMENT CLIMATIQUE	8
1.3 MODÈLES CLIMATIQUES	9
1.4 SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS	11
1.5 SIMULATIONS CLIMATIQUES	14
1.6 PROJECTIONS CLIMATIQUES	16
1.6.1 COUPLED MODEL INTERCOMPARAISON PROJECT (CMIP)	17
1.7 LES SOURCES D'INCERTITUDES DANS LES PROJECTIONS CLIMATIQUES	18
1.8 SIMULATIONS CLIMATIQUES (ENSEMBLE)	20
1.9 TECHNIQUES DE MISE À L'ÉCHELLE	22
1.9.1 QUAND DES TECHNIQUES DE MISE À L'ÉCHELLE DEVRAIENT-ELLES ÊTRE UTILISÉES?	24
1.9.2 MISE À L'ÉCHELLE DYNAMIQUE OU STATISTIQUE?	25
1.10 TECHNIQUES DE POST-TRAITEMENT	26
1.10.1 MÉTHODE DE DELTA (AUSSI APPELÉE MÉTHODE DE PERTURBATION)	27
1.10.2 CORRECTION DE BIAIS	28
1.11 SCÉNARIOS CLIMATIQUES (SCÉNARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE)	29
1.11.1 PÉRIODE DE RÉFÉRENCE ET HORIZONS FUTURS	29
1.11.2 CONSTRUIRE LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES	30
CHAPITRE DEUX - CLASSIFICATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE	33
2.1 CATÉGORIES D'INFORMATION CLIMATIQUE	34
2.2 FORMATS D'INFORMATION CLIMATIQUE	37

CHAPITRE TROIS - FORMATS D'INFORMATION CLIMATIQUE	39
CATEGORIE DE BASE	41
1. TABLEAU SYNTHÈSE	43
2. NORMALES CLIMATIQUES	45
3. TENDANCE HISTORIQUE	47
4. CARTE DE CHANGEMENTS (DELTA)	49
CATEGORIE INTERMÉDIAIRE	51
1. ANALOGUE SPATIAL	53
2. DIAGRAMME DE DISPERSION	55
3. CARTES DE VALEURS FUTURES	57
4. ÉVOLUTION DES VALEURS FUTURES	59
5. FONCTION DE DISTRIBUTION CUMULATIVE	61
CATEGORIE DÉTAILLÉE	63
1. SÉRIES TEMPORELLES	65
2. COURBES INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE	67
3. ANALYSE DE VARIABLES À CONFIANCE LIMITÉE – CHOIX ENTRE DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES OU DES SCÉNARIOS SYNTHÉTIQUES	69
4. SCÉNARIOS SYNTHÉTIQUES	71
CHAPITRE QUATRE - PRISE DE DÉCISION AU MOYEN DE L'INFORMATION CLIMATIQUE ET SON INCERTITUDE	74
CHAPITRE CINQ - ÉTUDES DE CAS DE L'UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE EN ADAPTATION	77
INFORMATION DE BASE	78
INFORMATION INTERMÉDIAIRE	79
INFORMATION DÉTAILLÉE	81
GLOSSAIRE	83
EXEMPLES	89
RÉFÉRENCES	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1 | Étapes d'un cadre d'adaptation aux changements climatiques.	3
Figure 2 | Exemple de la variabilité naturelle des températures moyennes annuelles et des moyennes mobiles de 10 et 30 ans, sans l'effet d'une tendance des changements climatiques à long terme (telle que produite sous l'augmentation des GES).	7
Figure 3 | Séries temporelles des températures annuelles au Québec, simulées par le Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC), ainsi que les tendances sur une période relativement courte (a) et plus longue (b) qui soulignent le fait que les tendances à court terme ne représentent pas toujours les tendances à long terme.	8
Figure 4 | Les interactions décrites par les modèles climatiques (gauche) et un exemple de grille utilisée pour compartimenter le système climatique (droite).	9
Figure 5 | Le changement de température globale comparativement à la période 1986-2005 pour les scénarios SRES utilisés par CMIP3 et les scénarios RCP utilisés par le Couple Model Intercomparison Project (CMIP5, voir encadré page 17). Le nombre de modèles est indiqué dans les parenthèses et les enveloppes de couleur représentent les résultats des tous les modèles.	12
Figure 6 | Période de temps pour l'utilisation de valeurs observées (pre-2005) et simulées (après 2005) de concentrations de CO ₂ pour la production des simulations climatiques disponibles de l'ensemble CMIP5.	13
Figure 7 | Séries temporelles des anomalies de la moyenne annuelle mondiale de la température de l'air en surface simulée à partir de l'ensemble CMIP5 de 1950 à 2100 par rapport à 1986-2005. Les projections de la moyenne multimodèle de chaque RCP (lignes pleines) sont présentées ainsi que la plage entre 5 à 95 % ($\pm 1,64$ d'écart type) des distributions des modèles individuels (parties ombragées). Les coupures en 2100 sont dues aux différents nombres de modèles utilisés au-delà du 21 ^e siècle et n'ont pas de signification physique. Un seul membre de chaque modèle est utilisé et les nombres affichés indiquent le nombre de modèles utilisés pour les différentes périodes. Aucune plage n'est donnée pour les projections du RCP6.0 au-delà de 2100, car seulement deux modèles sont disponibles.	15
Figure 8 | Titre tel que la figure 7. Le cercle rouge dénote une période de temps avant 2050 où les modèles climatiques exécutés avec les quatre RCP projettent des changements de températures globales similaires.	18
Figure 9 | Maximiser la couverture des distributions de précipitations, de température et de neige en utilisant le plus petit nombre de simulations au sein d'un ensemble plus vaste.	20
Figure 10 | Changements projetés de la température moyenne d'été (juin, juillet, août) et des précipitations hivernales (décembre, janvier, février). Les changements sont illustrés pour un ensemble de simulations climatiques globales sous trois RCP (2.6, 4.5 et 8.5). Les ellipses indiquent les intervalles de confiance de 10, 50, et 90%. Les scénarios les plus près des 10 ^e , 50 ^e et 90 ^e percentiles de changements sont encerclés et pointés en bleu.	21
Figure 11 | Exemple de la taille des points de grille entre celle d'un modèle global de climat (panneau de gauche) avec une résolution approximative de 200 km et une information qui a été mise à l'échelle sur une grille de 45 km (panneau de droite).	22
Figure 12 | Comparaison entre les techniques de mise à l'échelle dynamique et statistique.	23
Figure 13 | Exemple de la méthode de post-traitement par delta. Le changement relatif entre la période de référence et la période future est calculé (a) et appliqué à la série temporelle observée (b).	27
Figure 14 | Exemple d'une technique de correction de biais. Le changement relatif entre les valeurs de référence et les observations est calculé (a) et ce biais est retiré de la série temporelle simulée complète (b).	28
Figure 15 | La construction d'un scénario climatique fait de façon inadéquate (a) en comparant les valeurs futures simulées avec les observations passées et fait de façon adéquate (b) en comparant les valeurs simulées sur la période de référence et la période future.	31
Figure 16 | Exemples de questions à considérer afin d'évaluer les besoins des décideurs en information climatique des décideurs.	34
Figure 17 | Arbre de décision pour catégoriser l'information climatique.	36

- Figure 18** | 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 disponibles sur un site de RNCAN⁴⁵⁻⁴⁶. 45
- Figure 19** | Série temporelle historique de la précipitation totale annuelle (mm) pour la période 1905-2005 pour une station homogénéisée d'Environnement Canada⁴⁶. Les tendances pour les périodes 1901-2005 et 1971-2005 sont montrées en bleu et rouge, respectivement. 47
- Figure 20** | A. Carte des résultats moyens multimodèles CMIP5 pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 en 2081-2100, pour le changement de température de surface moyenne annuelle. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèle est indiqué dans le coin supérieur droit de chaque illustration. Une région est hachurée lorsque la moyenne multimodèle est élevée par rapport à la variabilité naturelle (c.-à-d. plus grande que deux écarts types de la variabilité interne naturelle dans les moyennes sur 20 ans) et lorsqu'au moins 90 % des modèles comportent le même signe de changement. 49
- Figure 21** | Analogie spatiale 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). 53
- Figure 22** | Changements projetés de la température annuelle moyenne (°C) et des précipitations totales (mm) pour les provinces du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse durant les mois d'hiver (DJF : décembre, janvier et février) pour l'horizon 2080 (2071-2100) en comparaison avec la période de référence 1971-2000. Les changements sont illustrés pour un ensemble de simulations climatiques globales selon le RCP4.5 (n = 100, points bleus) et le RCP8.5 (n = 60, points rouges). Les distributions associées à chaque ensemble de simulations sont montrées dans les illustrations à gauche et en bas. 55
- Figure 23** | Normales climatiques du 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 à partir d'un ensemble de 79 simulations (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional). Pour les projections, les colonnes du centre représentent la médiane, alors que celles de gauche et de droite représentent le 10^e et le 90^e percentile de l'ensemble, respectivement. 57
- Figure 24** | 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 (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional), alors que les observations proviennent d'un ensemble de données de RNCAN^{44,45}. Droite : Les valeurs de distribution de la moyenne régionale des valeurs observées (courbe en noir) et des valeurs projetées sont montrées au moyen du 10^e, du 50^e et du 90^e percentile de l'ensemble des scénarios climatiques (courbes en vert, bleu et rouge, respectivement). 59
- Figure 25** | Fonction de distribution cumulative (FDC) du nombre annuel moyen 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 (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional), alors que les observations proviennent d'un ensemble de données de RNCAN^{44,45}. 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) y sont illustrées. 61
- Figure 26** | A. Changement projeté dans le débit annuel moyen (Q_{moy}) pour la période 2041-2070 comparée à la période de référence 1971-2000, au moyen d'un ensemble de 89 simulations de l'ensemble CMIP3 et B. hydrogramme annuel moyen pour les périodes de référence et future pour l'un des sous-bassins hydrographiques. 65
- Figure 27** | 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 MCGG3#4. Les lignes indiquent l'intensité des précipitations selon quatre périodes de retour (2, 5, 10 et 25 ans). 67
- Figure 28** | Limite de la zone inondée simulée avec le scénario synthétique numéro 9, présenté au tableau 8 (QT100+ 2000m³/s). 71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 |	Caractéristiques principales des RCP et similitudes avec les scénarios SRES.	12
Tableau 2 |	Importance relative des trois sources principales d'incertitude au fil du temps.	19
Tableau 3 |	Comparaison des avantages et limites des techniques de mise à l'échelle dynamique et statistique.	25
Tableau 4 |	Résumé des trois catégories d'information climatique; de base, intermédiaire et détaillée.	35
Tableau 5 |	Vue d'ensemble des formats d'information présentés pour les trois catégories d'information climatique.	40
Tableau 6 |	Sommaire du changement climatique projeté de la Colombie-Britannique pour l'horizon 2050 (2041-2070), comparé à la période de référence 1961-1990. Les valeurs sont calculées à partir d'un ensemble de 30 simulations dérivées de 15 MCG différents, chacun utilisant 2 scénarios SRES d'émissions de gaz à effet de serre (A2 et B1).	43
Tableau 7 |	Exemples d'indices ou d'événements climatiques avec une confiance limitée.	69
Tableau 8 |	Liste de neuf scénarios synthétiques développés pour simuler les débits de la Rivière-des-Prairies, sur la rive nord de Montréal. Q2 et Q100 représentent les débits annuels selon une période de retour de 2 et 100 ans, respectivement.	71





INTRODUCTION

LE BESOIN D'UN TEL GUIDE

Partout dans le monde, les changements climatiques deviennent de plus en plus une préoccupation importante et pour pouvoir s'adapter aux conséquences qui en découlent, ils se doivent tout d'abord d'être compris. On peut affirmer que la climatologie a maintenant atteint un certain niveau de maturité qui la rend utile pour les décideurs. Au même moment, les conséquences possibles des changements climatiques soulèvent un nombre croissant de problèmes que les décideurs doivent considérer. Cependant, la prise de décision fondée sur l'information climatique est loin d'être simple. Identifier et obtenir de l'information pertinente peut être un défi en soi, mais également l'une des nombreuses étapes requises pour créer un cadre d'adaptation (figure 1). Ces étapes 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. Elles ont été présentées dans un grand nombre 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 types d'information climatique disponible. 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 du processus de prise de décision⁹.

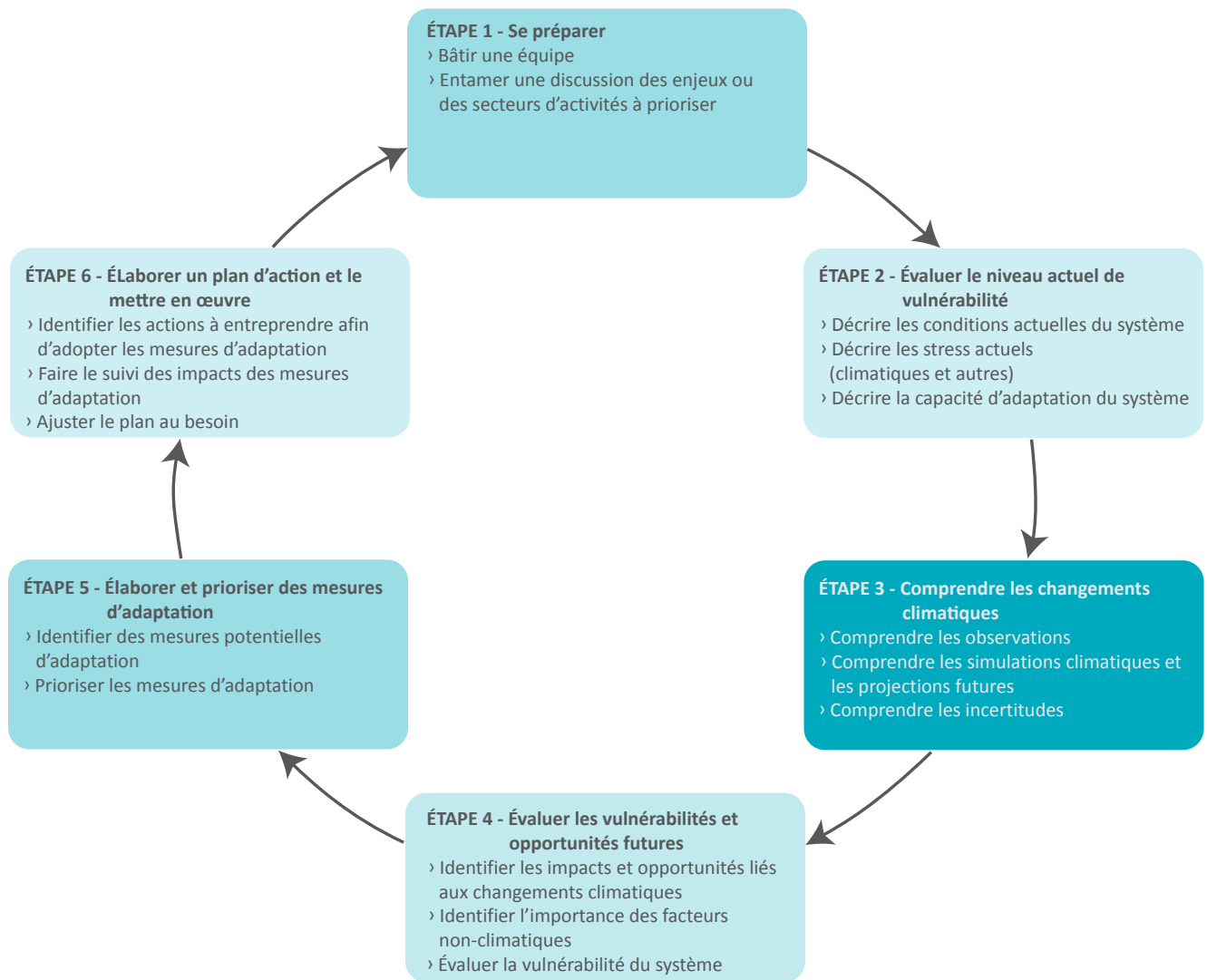
DÉFINITION DE L'ADAPTATION ET DU DÉCIDEUR

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 changements climatiques, de les gérer et de s'y adapter, afin que les risques soient minimisés et que les opportunités soient exploitées¹⁰. Le terme *adaptation* est donc utilisé au sens large et désigne un éventail d'actions qui sont souvent divisées en deux catégories¹¹:

- › *Dans le développement d'une capacité d'adaptation*, 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.
- › *Dans l'exploration des résultats de l'adaptation*, 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 les changements climatiques 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 peut, au fil du temps, se retrouver à différentes étapes du cadre d'adaptation. Par exemple, un décideur peut vouloir d'abord évaluer la vulnérabilité potentielle d'une ville aux changements climatiques (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'offre et la diversité d'information climatique ont augmenté au cours des années. Cependant, l'information climatique générique n'est pas utilisée à son plein potentiel. Quelques raisons expliquent ce fait. D'abord, les utilisateurs potentiels sont nombreux et varient quant à leurs connaissances, objectifs, capacités, autorités et responsabilités¹². 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 et personnalisée pour remplir leurs exigences. En effet, des outils de soutien « génériques » pour la prise de décision ne sont pas simples à développer, car les décisions liées au climat sont prises à plusieurs niveaux par une diversité d'intervenants qui ont des capacités différentes à gérer l'information^{13,14}. Enfin, l'information climatique doit être communiquée et transmise de manière efficace, et le format optimal à cet effet peut varier d'un utilisateur à l'autre.



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

Figure 1 | Étapes d'un cadre d'adaptation aux changements climatiques.

Source : I. Charron (Ouranos)

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 des changements climatiques.

Ce guide souligne le fait que l'information climatique peut être *personnalisée* pour remplir les besoins d'un éventail d'utilisateurs. Au fil des interactions accrues entre les scientifiques et les décideurs, la dichotomie entre ces deux types d'acteurs diminue. 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 d'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. Le guide leur permettra donc de déterminer quels sont les bons outils pour la bonne tâche.

Qu'est ce que l'information climatique ?

Le terme « information climatique » est utilisé dans ce document pour désigner les données climatiques qui sont obtenues des stations d'observation météorologique et des sorties de modèles climatiques. La première source fournit de l'information sur les événements passés, alors que la seconde peut simuler autant le passé que le futur. Ce guide met surtout l'accent sur l'information climatique future.

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 responsables d'évaluer les conséquences des changements climatiques ou de mettre en œuvre des mesures d'adaptation en réponse à ces impacts. Plus précisément, le guide peut être considéré comme une partie intégrante du processus décrit à la figure 1, et cible un public déjà impliqué dans l'adaptation aux changements climatiques. 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 évaluer leurs besoins, pour ensuite préparer l'information eux-mêmes ou communiquer ces besoins aux fournisseurs de services climatiques.

Les fournisseurs de services climatiques bénéficieront aussi de l'information présentée dans ce guide. Elle les aidera à mieux classer les demandes d'information climatique et à développer une compréhension accrue des formats climatiques qui peuvent être personnalisés en fonction des différents utilisateurs. Ce dernier objectif est aussi pertinent pour ceux qui utilisent régulièrement des données climatiques et donc qui ont une bonne compréhension de la science du climat, mais qui cherchent la meilleure façon de présenter leurs résultats à des décideurs ou autres usagers, qui sont moins familiarisés avec l'information climatique.

OBJECTIFS

L'objectif général de ce guide est d'accroître la compréhension et l'utilisation de l'information climatique dans un cadre d'adaptation. Le guide vise d'abord à aider les décideurs à être plus critique envers l'information qui leur est fournie, et d'autre part, à rappeler aux fournisseurs de services climatiques d'être plus transparent quant à la façon dont l'information est produite.

COMMENT UTILISER LE 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. Les utilisateurs voudront plutôt 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. Plusieurs de ces concepts sont abordés au [Chapitre 1](#) et sont mis en évidence en **caractères gras** tout au long du guide.
- › Afin de mieux diriger le lecteur à travers le guide, le [Chapitre 2](#) l'oriente en fonction de ses besoins. Par la suite, il peut se concentrer sur la catégorie d'information climatique répondant spécifiquement à ses besoins au [Chapitre 3](#).





CHAPITRE UN

CONCEPTS EN MODÉLISATION CLIMATIQUE

1.1 VARIABILITÉ CLIMATIQUE NATURELLE

Le climat n'est pas constant. Alors que la météo 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 saisonnière et annuelle (figure 2). Par exemple, certains hivers sont plus chauds que d'autres ou encore les précipitations totales annuelles sont plus importantes d'une année à l'autre. Ces différences sont considérées comme la *variabilité naturelle du climat*, ou la *variabilité climatique*. Une partie de ces fluctuations naturelles

du climat sont chaotiques et imprévisibles, mais d'autres sont causées par des phénomènes plus ou moins cycliques qui se produisent à différentes échelles temporelles. Des exemples de facteurs qui influencent la réponse du climat incluent le cycle solaire¹⁵, la stratosphère¹⁶ et les schémas de circulation océanique¹⁷. La plupart de ces phénomènes au cœur de la variabilité naturelle du monde réel émergent des simulations climatiques, mais souvent avec des propriétés statistiques différentes.

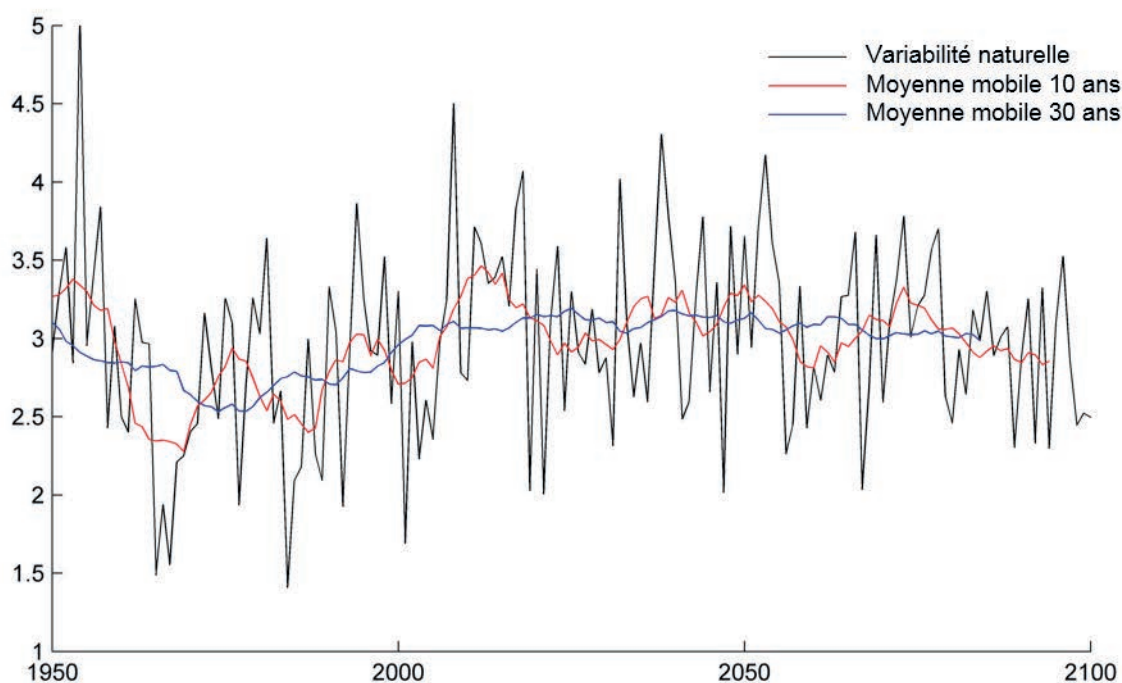


Figure 2 | Exemple de la variabilité naturelle des températures moyennes annuelles et des moyennes mobiles de 10 et 30 ans, sans l'effet d'une tendance des changements climatiques à long terme (telle que produite sous l'augmentation des GES).

Source : T. Logan (Ouranos)

1.2 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le *changement climatique* est un changement continu à long terme, une tendance à la hausse ou à la baisse, par rapport aux conditions de base. Ce changement est fortement modulé par la variabilité naturelle du climat. La figure 2 montre des données annuelles de température moyenne tracées au fil du temps. De toute évidence, la température annuelle n'est pas constante, mais varie d'année en année. Cette variabilité naturelle persistera, même si la tendance à long terme démontre une augmentation de la température moyenne annuelle, comme le montre la figure 3.

Cela implique que, dans le but de quantifier un signal de changement climatique clair (figure 3), la moyenne climatique doit être calculée sur des périodes relativement longues (voir l'encadré sur les normales climatiques). Compte tenu de la variabilité naturelle du climat, il sera toujours possible d'avoir des tendances à court terme qui sont contraires à la tendance générale projetée due aux changements climatiques. Il est donc important de se méfier des tendances qui sont calculées sur un nombre relativement restreint d'années (Figure 3a).

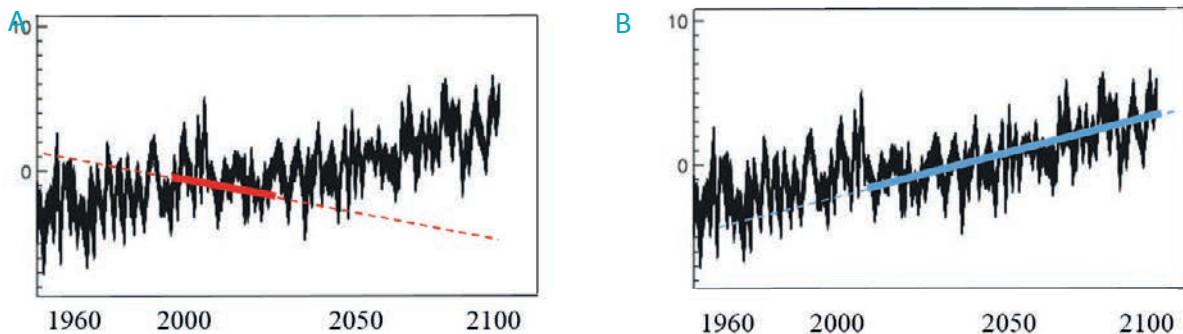


Figure 3 | Séries temporelles des températures annuelles au Québec, simulées par le Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC), ainsi que les tendances sur une période relativement courte (a) et plus longue (b) qui soulignent le fait que les tendances à court terme ne représentent pas toujours les tendances à long terme.

Source : R. de Elía (Ouranos)

Normales climatiques

Les normales climatiques sont des moyennes d'indices climatiques utilisées pour représenter le climat passé récent selon une zone donnée. La période de temps utilisée pour les normales climatiques correspond souvent à celle utilisée comme période de référence ou de base dans le calcul du changement climatique. **Notez que les normales climatiques ne doivent pas être confondues avec la période de référence. Les normales climatiques sont calculées à partir de données observées aux stations tandis que les valeurs de la période de référence sont calculées à l'aide des sorties de simulations climatiques.** Les normales climatiques sont calculées à partir des observations de températures et de précipitations qui ont été recueillies à l'échelle mondiale depuis le milieu du 19^e siècle (certaines stations ont des séries plus longues), ainsi que d'autres variables climatiques sur une base plus sélective. Pour faciliter les comparaisons entre les études, les centres climatiques dans le monde entier tendent à converger vers une période similaire de 30 ans, qui est approuvée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Cependant, il est important de noter que d'autres sources d'observations telles que les données satellitaires sont disponibles pour des périodes beaucoup plus courtes et plus récentes. Les particularités de l'étude entreprise par le décideur peuvent influencer la période choisie. **Ce qui importe est de sélectionner une période suffisamment longue pour caractériser les conditions climatiques à long terme n'étant pas trop influencées par la variabilité à court terme.** Par exemple, une moyenne de 10 ans pourrait facilement être influencée par un réchauffement ou un refroidissement à court terme, alors qu'une moyenne de 30 ans serait probablement en mesure de lisser une grande partie de cet effet (figure 2).

1.3 MODÈLES CLIMATIQUES

Un *modèle climatique* est un outil numérique basé sur des équations mathématiques qui représentent les 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, les aérosols, ainsi que les émissions naturelles et anthropiques de gaz à effet de serre (GES) (figure 4).

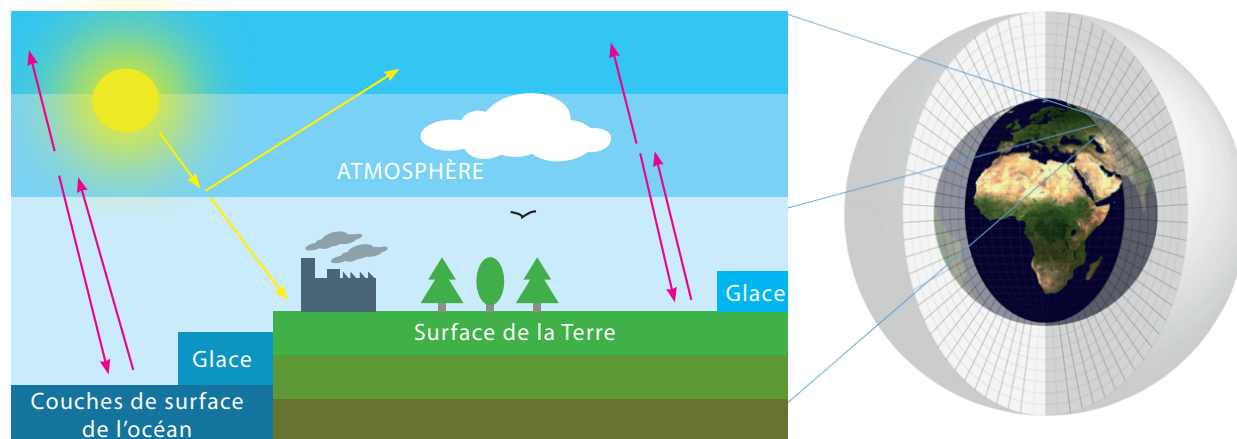


Figure 4 | Les interactions décrites par les modèles climatiques (gauche) et un exemple de grille utilisée pour compartimenter le système climatique (droite).

Source : Ouranos

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 pour être utile. 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.

Afin d'obtenir une représentation la plus précise possible, ces équations devraient idéalement être résolues pour chaque point de l'atmosphère, des océans et des couches supérieures du sol, ce qui est impossible en pratique. Pour pallier cette problématique, les composantes du système climatique sont divisées en boîtes distinctes ou cellules (points) de grille qui recouvrent la planète (figure 4, à droite). 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 un code informatique pour fournir une représentation

discrète (c.-à-d. sur une grille) dans l'espace et dans 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 celles résolues directement par les équations fondamentales (paramétrage). De plus, une différence importante entre les modèles provient des champs géophysiques utilisés pour représenter les textures du sol et les types de végétation. Ces champs ainsi que la topographie et la concentration/émissions des GES sont nécessaires comme intrants dans les modèles climatiques. Ces différences impliquent que chaque modèle est unique et va générer un résultat légèrement différent avec les mêmes données de forçage.

Les modèles climatiques sont divisés en deux groupes principaux en fonction de leur résolution, soit la taille de leur grille de calcul, une zone appelée le domaine du modèle :

Modèles climatiques globaux (MCG) : les grilles de calcul d'un MCG (domaines) couvrent l'ensemble de la planète. Les MCG actuels ont généralement une résolution horizontale d'environ 200 km. Les MCG sont divisés en trois catégories principales. Les MCG de la toute première génération ont été appelés modèles de circulation générale de l'atmosphère (MCGA), et incluaient seulement la partie atmosphérique du système climatique et l'interaction avec la surface terrestre continentale. La deuxième génération de modèles, les modèles de circulation générale appelée atmosphère-océan (MCGAO), couplait l'atmosphère et la terre avec des modèles physiques de l'océan. La dernière génération de modèles, appelés modèles de système terrestre (MST), inclut maintenant l'ajout d'autres interactions et les cycles biogéochimiques, ainsi que les changements de la couverture terrestre, comme les types de végétation. Jusqu'à présent, le cycle du carbone a été mis en œuvre dans la plupart des MST et de la recherche est en cours pour inclure d'autres cycles.

Modèles climatiques régionaux (MCR) : les grilles de calcul d'un MCR ne couvrent qu'une partie de la planète. En se concentrant sur une zone limitée du globe, il est possible de résoudre les équations du modèle climatique sur une résolution horizontale plus fine (45 km ou moins) dans un laps de temps raisonnable. Afin de résoudre les MRC, les données des MCG doivent être intégrées à leurs frontières (cela peut aussi être fait en utilisant les réanalyses; essentiellement une technique qui combine des données historiques provenant de diverses sources pour recréer le climat passé). Cette procédure est appelée « piloter » un MCR.

Résolution du modèle

Il serait logique de croire que plus la résolution de l'information donnée est fine, plus celle-ci est appropriée, utilisable ou riche. Par conséquent, l'utilisation des MCR ou des données soumises à une technique de mise à l'échelle statistique plutôt que les sorties des modèles climatiques globaux est souvent souhaitée. Ultimement, le choix d'un type de données plutôt qu'un autre dépend de l'évaluation de nombreux facteurs, mais il est important de comprendre qu'une résolution accrue de modèle n'assure pas une performance supérieure pour toutes les variables climatiques. De plus, une résolution plus élevée (p. ex. au moyen de techniques de mise à l'échelle) ne fournira pas nécessairement de l'information plus utile au décideur. Toutefois, une résolution plus élevée permet une représentation plus fine des caractéristiques topographiques, ce qui peut être très important pour certaines variables, en particulier celles qui représentent des événements extrêmes.

1.4 SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS

Comme le forçage des GES est un élément important de la simulation numérique du climat. Il existe deux sources de données pour ces émissions. Tout d'abord, pour le passé, les entrées des émissions proviennent des observations de différentes stations dans le monde entier. Ensuite, pour le futur, l'évolution des GES est obtenue à partir de *scénarios d'émissions*.

Les scénarios d'émissions décrivent des changements futurs plausibles des GES, des aérosols et autres gaz anthropiques dans l'atmosphère. Ils 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) (GIEC 2007¹⁸). De nombreux facteurs influencent les émissions mondiales futures. Les plus importantes sont les politiques d'atténuation qui peuvent jouer un rôle important dans la régulation des émissions anthropiques. Par conséquent, les niveaux d'émissions futures sont incertains et ainsi, les scénarios fournissent des visions alternatives de la façon dont l'avenir pourrait se dérouler. La gamme des différents scénarios d'émissions reflète notre compréhension et nos connaissances actuelles sur les développements socioéconomiques et technologiques futurs qui peuvent ou non se réaliser. Au fur et à mesure que de nouvelles connaissances sont disponibles au sujet de ces hypothèses sous-jacentes, les scénarios d'émissions sont révisés et mis à la disposition de la communauté scientifique.

L'élaboration de scénarios d'émissions est un processus qui se produit en parallèle avec le

développement de modèles climatiques. Des équipes de chercheurs sont dédiés à l'évaluation de la façon dont les émissions vont évoluer dans le temps et ces scénarios sont ensuite utilisés pour résoudre des modèles climatiques afin de produire des simulations du climat futur, chacune dépendante d'un scénario d'émissions donné.

Les concentrations de GES sont présentement décrites par des trajectoires de concentration représentatives (*representative concentration pathways-RCP*). Ces scénarios d'émissions ont formé la base du cinquième rapport d'évaluation du GIEC (AR5), publié en 2013¹⁹. Les RCP contiennent des trajectoires d'émissions, de concentration et d'utilisation des terres, et visent à être représentatives des publications actuelles sur les émissions et la concentration de GES. L'hypothèse est qu'une trajectoire de forçage radiatif donnée peut provenir d'une gamme diversifiée de scénarios de développement socio-économique et technologique. Les projections présentées dans les troisième et quatrième rapports d'évaluation du GIEC, étaient basées sur des scénarios SRES (tableau 1, figure 5).

Quatre trajectoires RCP ont été développées et nommées selon leur forçage radiatif total (en W/m²) autour de l'an 2100 (tableau 1, figure 5). Il s'agit du RCP 2.6, qui suppose une baisse éventuelle des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère au cours du 21^e siècle et qui projette les plus petits changements de températures à la surface du globe, au RCP 8.5, qui est basé sur l'augmentation constante des concentrations de CO₂ et qui conduit aux plus fortes augmentations de températures de surface d'ici 2100 et plus (tableau 1, figure 5).

Les scénarios d'émissions au fil du temps

Les RCP ont remplacé l'ancien ensemble de scénarios d'émissions, publié dans un rapport spécial (GIEC 2000²⁰), qui était connu sous le nom de scénarios SRES. Les scénarios d'émissions SRES constituaient les entrées des modèles climatiques pour les troisième et quatrième rapports d'évaluation du GIEC, publiés respectivement en 2001 et en 2007^{18,21}. Le tableau 1 et la figure 5 comparent les deux ensembles de scénarios d'émissions.

Tableau 1 | Caractéristiques principales des RCP et similitudes avec les scénarios SRES.

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (ppm)	Anomalie de T (°C)	Trajectoire	SRES équivalent (anomalie de T)
RCP 8.5	8.5 W/m ² en 2100	>1370	4.9	Croissante	SRES A1FI*
RCP 6.0	6 W/m ² après 2100	~850	3.0	Stabilisation sans dépassement	SRES B2
RCP 4.5	4.5 W/m ² après 2100	~650	2.4	Stabilisation sans dépassement	SRES B1
RCP 2.6 (RCP 3PD)	Pic à 3W/m ² en 2050, puis déclin à 2.6Wm ² avant 2100	~490	1.5	Pic puis déclin	Aucun

Adapté de Rogelj et al. 2012³⁶

*Notez que le SRES A1FI n'a pas été utilisé par l'ensemble CMIP3 et par conséquent n'apparaît pas sur la figure 5. Cependant, s'il y était montré, il serait au-dessus du SRES A2.

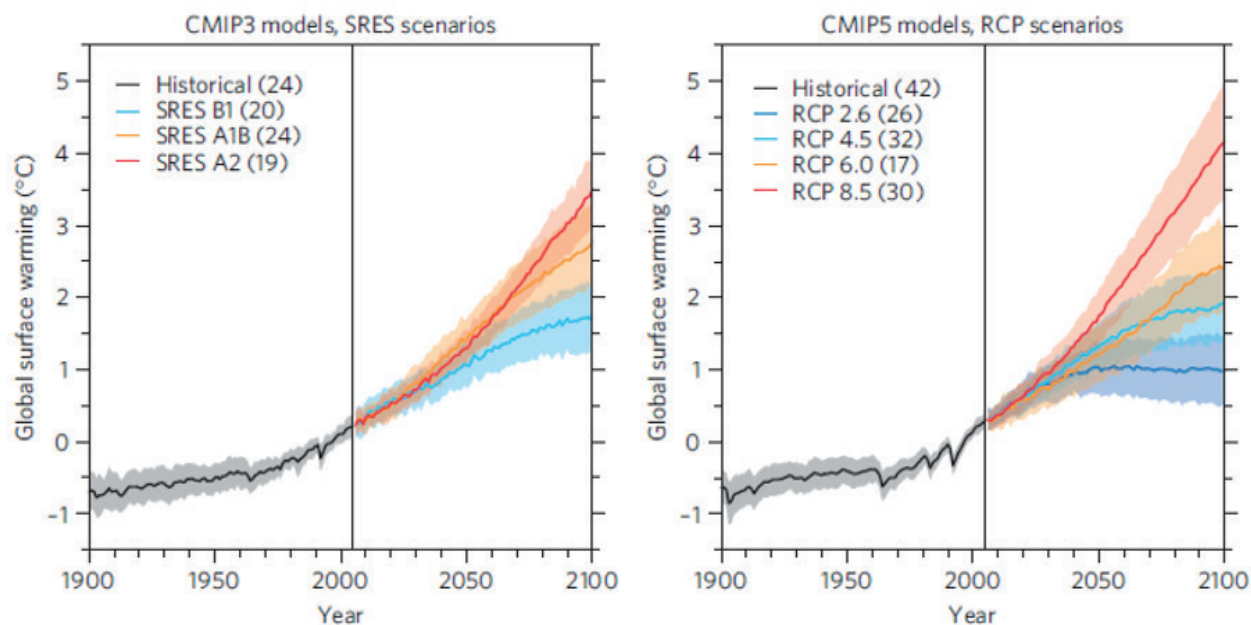


Figure 5 | Le changement de température globale comparativement à la période 1986-2005 pour les scénarios SRES utilisés par CMIP3 et les scénarios RCP utilisés par le *Couple Model Intercomparison Project* (CMIP5, voir encadré page 17). Le nombre de modèles est indiqué dans les parenthèses et les enveloppes de couleur représentent les résultats de tous les modèles.

Adapté de Knutti et Sedláček (2012)²³.

La définition de la « période passée » pour laquelle des observations d'émissions de GES sont disponibles et utilisées pour piloter les modèles climatiques, est mise à jour à chaque nouvelle évaluation du GIEC. Pour le plus récent, cinquième rapport d'évaluation, les observations de GES ont été utilisées jusqu'en 2005; après quoi les *scénarios d'émissions* ont été utilisés comme intrants (figures 5 et 6). Étant donné que le rapport du GIEC a été publié en 2013, il serait logique de se demander pourquoi les observations, qui sont disponibles jusqu'à aujourd'hui, cessent d'être

utilisées en 2005. La décision du choix de la dernière année « passée » est prise par la communauté climatique et reflète le temps nécessaire pour que les scientifiques puissent produire des simulations climatiques, publier leurs résultats dans la littérature scientifique évaluée par les pairs, et écrire les chapitres du rapport du GIEC. Ces étapes prennent beaucoup de temps et ne peuvent tout simplement pas être accomplies en un an.

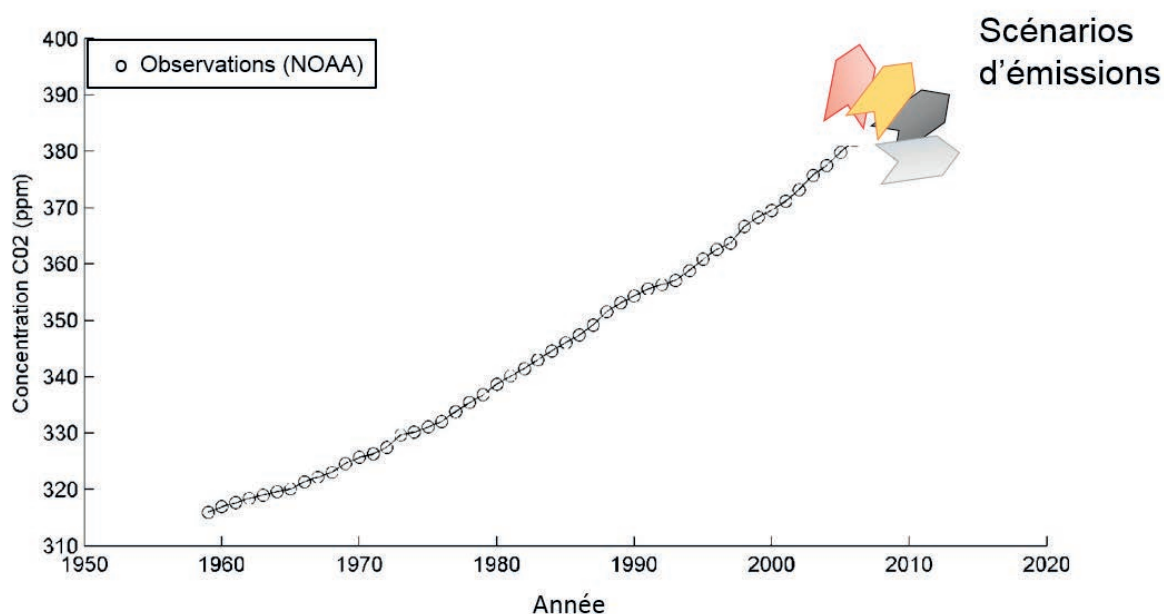


Figure 6 | Période de temps pour l'utilisation de valeurs observées (pre-2005) et simulées (après 2005) de concentrations de CO₂ pour la production des simulations climatiques disponibles avec l'ensemble CMIP5.
Source : T. Logan (Ouranos)

1.5 SIMULATIONS CLIMATIQUES

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. Comme indiqué précédemment, chaque modèle climatique a son propre ensemble d'équations pour représenter le système climatique. Pour obtenir une simulation climatique, de nombreuses données sont nécessaires en intrants dans un modèle climatique. Par exemple, un portrait détaillé de la surface de la Terre, y compris les données géophysiques (types de sol, les types de végétation, les contours continentaux, l'emplacement et la bathymétrie des grandes étendues d'eau, description de la topographie, etc.). En outre, comme abordés plus tôt, les *scénarios d'émissions* sont un facteur principal pour les modèles climatiques dans les études sur les changements climatiques. Différentes simulations climatiques sont obtenues puisque chaque modèle climatique réagit différemment aux scénarios d'émissions de GES, et donc produira un climat futur différent (voir l'encadré sur les ensembles). Il est important de comprendre qu'aucun de ces climats futurs ne devrait être considéré comme une prédiction : tous les climats futurs prévus par les modèles climatiques avec différents scénarios de forçage de GES doivent être considérés comme tout aussi plausibles.

La durée d'une simulation peut varier de quelques années à des milliers d'années; à la fois pour le passé et le futur (figure 7). La longueur de temps sur laquelle les modèles climatiques sont exécutés pour produire des simulations diffère d'un centre climatique à un autre, mais peut aller par exemple de 1850 ou de 1900 à 2100 ou même 2300 (figure 7). Chaque simulation est calculée de façon itérative pour des intervalles de temps différents. Ces intervalles, aussi appelées « pas de temps », indiquent la période de temps dans le modèle entre deux états du système climatique calculée par les équations. La longueur de l'intervalle de temps définit la résolution temporelle, qui est typiquement de 5 à 20 minutes. À chaque pas de temps et à chaque point de la grille de calcul (niveau horizontal et vertical), la solution numérique des équations donne les valeurs des variables incluses dans les équations de base, ainsi que plusieurs autres variables dérivées de paramétrages physiques. Ainsi, une simulation climatique contient plus d'une centaine de variables climatiques descriptives (température, vents, pression barométrique, précipitations, 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.

Biais du modèle

Les modèles climatiques sont une représentation du système climatique, et les équations mathématiques qui sont résolues pour représenter ce système sont une simplification du monde réel. Une simulation climatique est donc une représentation numérique imparfaite de la météorologie basée sur l'hypothèse que la simulation de la variabilité naturelle est près de la réalité. Cela signifie que même si des observations d'émissions de GES pour le passé sont utilisées pour piloter un modèle climatique, la simulation résultante donnera une réponse qui est différente de ce qui est enregistré aux stations météorologiques.

De plus, en raison de la nature chaotique du système climatique et de la sensibilité du modèle climatique à des facteurs tels que les conditions initiales d'une simulation, même un modèle climatique « parfait » ne serait pas en mesure de reproduire la succession ou la séquence des événements météorologiques historiques observés. L'objectif consiste plutôt à ce que le modèle reproduise les propriétés statistiques (moyenne, variance, variabilité interannuelle, etc.) des observations. Étant donné que chaque modèle représente le système climatique différemment et imparfaitement, ils ont tous leur propre biais. Cela signifie entre autres que certains modèles peuvent toujours produire des températures qui sont légèrement plus froides en moyenne que les autres modèles, alors que certains peuvent toujours projeter plus de précipitations que d'autres. En outre, le biais d'un modèle n'est pas nécessairement équivalent pour tout le globe, et peut varier selon les régions. Il est important de tenir compte de ce biais dans le calcul des *scénarios de changements climatiques*. Les biais sont présents dans les modèles MCG et les MCR, ainsi que dans les données d'observations sur grille.

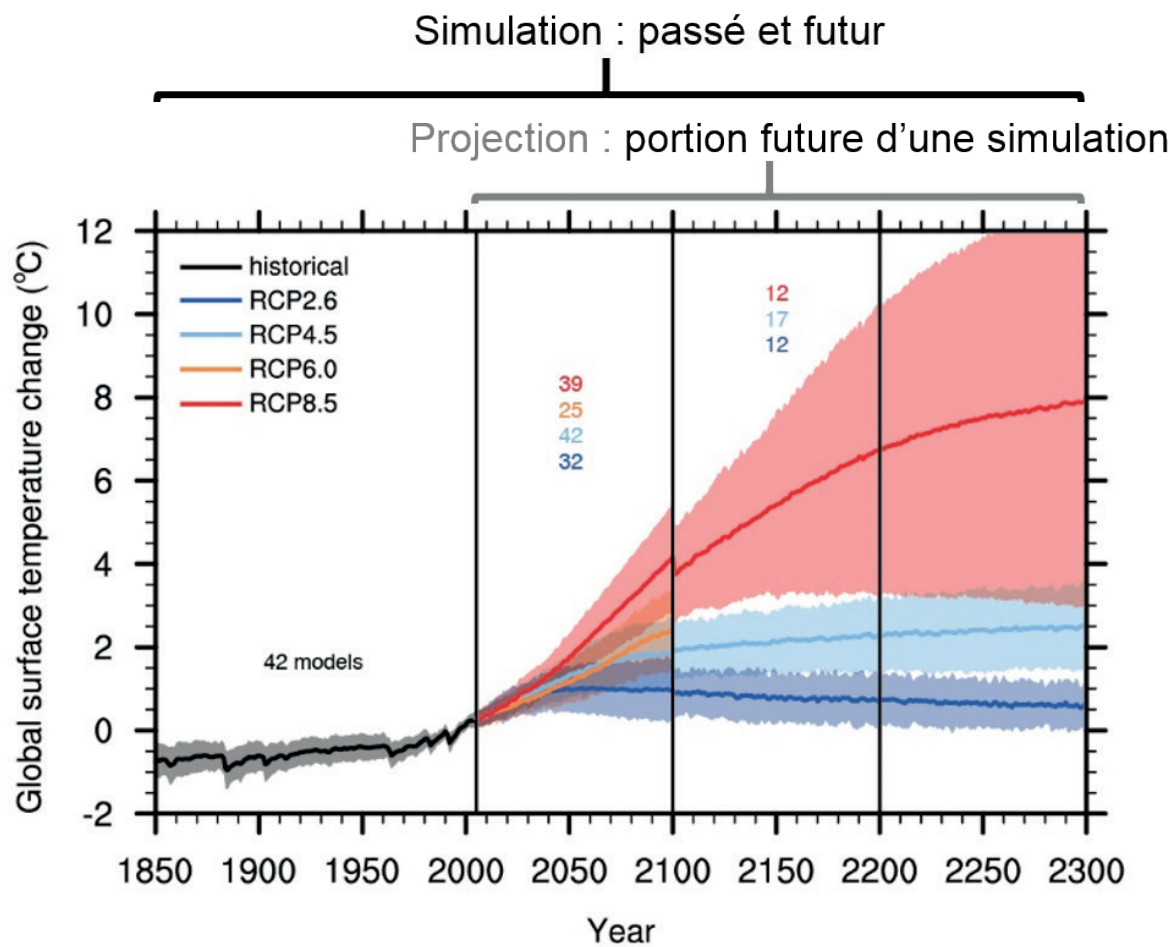


Figure 7 | Séries temporelles des anomalies de la moyenne annuelle mondiale de la température de l'air en surface simulée à partir de l'ensemble CMIP5 de 1950 à 2100 par rapport à 1986-2005. Les projections de la moyenne multi-modèle de chaque RCP (lignes pleines) sont présentées ainsi que la plage entre 5 à 95 % ($\pm 1,64$ d'écart type) des distributions des modèles individuels (parties ombragées). Les coupures en 2100 sont dues aux différents nombres de modèles utilisés au-delà du 21^e siècle et n'ont pas de signification physique. Un seul membre de chaque modèle est utilisé et les nombres affichés indiquent le nombre de modèles utilisés pour les différentes périodes. Aucune plage n'est donnée pour les projections du RCP 6.0 au-delà de 2100, car seulement deux modèles sont disponibles.

Source : IPCC 2013⁴⁹

1.6 PROJECTIONS CLIMATIQUES

Les *projections climatiques* sont la portion d'une simulation qui représente le futur (figure 7). Elles représentent une évolution plausible des différentes variables qui décrivent le système climatique sur une période de plusieurs décennies à plusieurs siècles, selon différents scénarios d'émissions de

gaz à effet de serre. La première année de cette période future est l'année qui correspond à la première année où les scénarios d'émissions sont utilisés pour exécuter des modèles climatiques, contrairement aux émissions de GES observées pour la période passée.

Ensembles

Il est possible de produire un large ensemble de simulations, ou de futurs plausibles, en exécutant de nombreux modèles avec différents scénarios d'émissions. Un modèle peut également être exécuté plusieurs fois avec le même RCP, mais avec de légères perturbations des conditions initiales, par exemple en changeant la date du début de la simulation pour obtenir ce que l'on appelle des **membres** de l'ensemble. En raison de la nature chaotique du système climatique, ces petits changements donneront des réponses différentes (succession d'événements météorologiques) et donc différentes valeurs des projections climatiques. Ce processus permet d'obtenir un plus large ensemble de simulations, ce qui est souvent souhaitable pour mieux caractériser l'incertitude.

1.6.1 PROJET D'INTERCOMPARAISON DES MODÈLES COUPLÉS (CMIP)

Comme mentionné plus tôt, il existe plusieurs centres de modélisation du climat dans le monde, chacun développant son propre modèle climatique global. Il existe aussi actuellement quatre scénarios d'émissions plausibles à considérer lors de la production de simulations climatiques. L'obtention d'une telle simulation, c'est-à-dire l'exécution d'un modèle avec un RCP, requiert un temps de calcul important et même avec les ordinateurs à haute performance d'aujourd'hui, cela peut prendre jusqu'à plusieurs mois pour exécuter un modèle global sur l'ensemble du globe pour une période de simulation significative, disons de 1850 à 2100. Par conséquent, il serait difficile, voire impossible, pour chaque centre de modélisation climatique d'exécuter tous les modèles disponibles avec tous les RCP disponibles. Donc, pour obtenir un cadre commun de simulations et le plus grand ensemble possible, les centres de modélisation ont convenu d'exécuter leurs propres modèles avec les différents RCP et de rendre les simulations obtenues disponibles à l'ensemble de la communauté climatique. Cette collaboration se fait par le biais d'une initiative appelée le *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP). Grâce à une interface Web, il est possible de télécharger un grand ensemble de simulations de plusieurs centres qui font partie de ce projet. L'ensemble CMIP constitue la base des résultats présentés dans les rapports du GIEC.

Une mise à jour des modèles climatiques et des scénarios d'émissions permet la production de nouvelles simulations (ensemble), qui devient disponible à travers l'initiative CMIP. À l'heure actuelle, la communauté scientifique utilise le cinquième ensemble, appelé CMIP5. Cette nouvelle génération de modèles 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 égale³⁷. Il est à noter que ce processus de développement est en continu et que les centres climatiques développent par ailleurs un ensemble CMIP6, qui sera la base du prochain rapport du GIEC.

La comparaison des deux générations de simulations (CMIP3 et CMIP5) n'est pas facile étant donné que les deux ensembles utilisent différents forçages de GES. Cependant, 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, pour les projections climatiques avec un forçage similaire²⁵. Par contre, l'ensemble CMIP5 se compare plus avantageusement avec les observations passées (^{23,26-28}). Les utilisateurs peuvent être rassurés par le fait que l'information climatique fournie au moyen des modèles CMIP3 demeure valide et robuste, même s'il y a maintenant une tendance à utiliser les modèles CMIP5. Les études de comparaison 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 observations²⁹. En d'autres mots, la moyenne d'un ensemble de simulations, pour le climat passé, est généralement plus près de la valeur observée que la moyenne de n'importe quelle simulation prise individuellement.

CMIP5 vs CMIP3

On croit généralement que les simulations les plus récentes sont susceptibles d'être plus fiables que celles d'une génération antérieure de modèles. 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 ne sont pas toujours très claires. L'information fournie par un ensemble de modèles 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 (CMIP5); cependant, des simulations antérieures (CMIP3) sont également utilisées dans certains cas. Le guide met l'accent sur l'interprétation de l'information climatique, qui en général dépend très peu de la génération de modèles ou de scénarios d'émissions utilisés.

1.7 LES SOURCES D'INCERTITUDES DANS LES PROJECTIONS CLIMATIQUES

L'incertitude des projections climatiques provient de trois grandes sources : la variabilité naturelle du climat, les imprécisions des modèles climatiques et les émissions de GES³⁰⁻³². 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. De plus, les modèles génèrent leur propre climat, qui diffère de la réalité (plus ou moins, selon le modèle, voir encadré sur le biais) et les modèles climatiques diffèrent tous dans leur réponse aux émissions de gaz à effet de serre. Enfin, l'évolution des émissions de GES est également incertaine et il est impossible à l'heure actuelle de déterminer lequel, le cas échéant, des quatre RCP sera réalisé.

L'importance relative future 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 et peut même masquer le signal de changement climatique. Cela est d'une grande importance, car cette variabilité peut s'opposer, au moins pendant quelques décennies, aux tendances

à long terme qui sont associées au changement climatique anthropique (figure 3). Autrement dit, plusieurs décennies peuvent être nécessaires avant que le « signal » climatique émerge du « bruit » de la variabilité interannuelle. À court terme, le choix du scénario d'émissions est relativement peu important (voir cercle rouge sur la figure 8). 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^{3,31}. Par exemple, sur la figure 8, il est possible de distinguer le fait que les lignes de couleur commencent à diverger autour de l'année 2030 et qu'une nette distinction entre les différents RCP deviennent évidente qu'à partir de 2050.

Cependant, sur des horizons temporels plus longs, le choix d'un scénario d'émissions devient très important (enveloppes de couleur sur la figure 8), alors que l'incertitude du modèle demeure relativement constante, peu importe l'échelle temporelle sur laquelle les décisions sont prises. Il a été démontré que ces schémas sont cohérents avec les analyses, tant mondiales que régionales, des incertitudes^{30,32-35}.

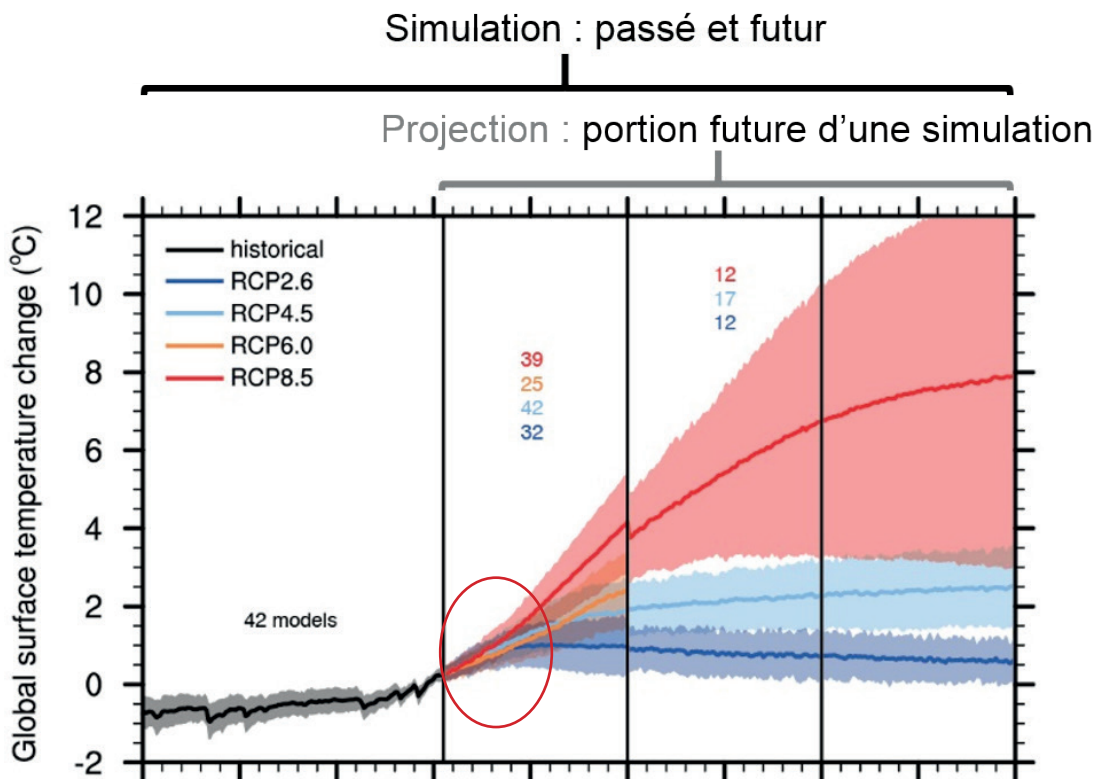


Figure 8 | Titre tel que la figure 7. Le cercle rouge dénote une période de temps avant 2050 où les modèles climatiques exécutés avec les quatre RCP projettent des changements de températures globales similaires.

Source : IPCC 2013¹⁹

Dans plusieurs cas, les parties prenantes et les décideurs sont déjà aux prises avec de l'incertitude, car ils ont à gérer la variabilité météorologique et climatique à court terme, ainsi que l'incertitude liée à d'autres éléments du processus décisionnel. 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 donc important de comprendre

que les principales sources d'incertitude et leur importance relative changeront au fil du temps. 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 2), ce qui aura également une grande influence sur le type d'information climatique qui serait le plus approprié.

Tableau 2 | Importance relative des trois sources principales d'incertitude au fil du temps.

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

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. L'importance de compter sur un processus itératif qui permet de revoir les projections climatiques et de réévaluer les mesures d'adaptation mises en place, comme recommandé par un cadre d'adaptation (figure 1), peut être particulièrement bénéfique.

Par contre, pour des horizons de planification plus longs, les incertitudes liées au scénario d'émissions doivent recevoir une attention particulière. 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.

1.8 SIMULATIONS CLIMATIQUES (ENSEMBLE)

Les utilisateurs d'information climatique expriment souvent le désir de posséder le « meilleur » scénario, ou 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. Ensemble, ces éléments fournissent une représentation plausible du monde réel actuel et du changement possible du climat, selon 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. Ils ont tous certains biais et produisent conséquemment des résultats différents. Aucun modèle climatique ne peut constamment fournir les meilleurs résultats pour toutes les variables, saisons et régions. De plus, il est impossible de déterminer quel scénario d'émissions sera le plus près de la réalité.

Ainsi, lorsque l'information climatique est fournie, il est prudent de considérer un ensemble de simulations, ou un grand nombre de simulations lors du processus de prise de décision. En d'autres termes, il vaut mieux considérer un ensemble qui inclut le scénario le plus favorable ainsi que le plus défavorable.

Par contre, prendre une décision sur le nombre exact de simulations qui devrait être considéré n'est pas simple. En effet, les directives générales tendent à suggérer aux utilisateurs d'obtenir des projections

climatiques basées sur le plus grand nombre de simulations possible, qui elles-mêmes représentent le plus grand nombre de modèles et de scénarios d'émissions possible³⁶. Cependant, l'expression « grand ensemble » demeure vague. Ultimement, le choix du nombre de simulations à considérer dans un projet sera influencé par le temps et les ressources disponibles. 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 illustrent adéquatement la plage complète de conditions futures possibles pour les indices à l'étude³⁷.

Une de ces techniques est l'analyse par grappe³⁸. 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 est calculée (c.-à-d. le changement climatique). 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 9 illustre un exemple et souligne l'objectif qui est de maximiser la plage des valeurs (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,

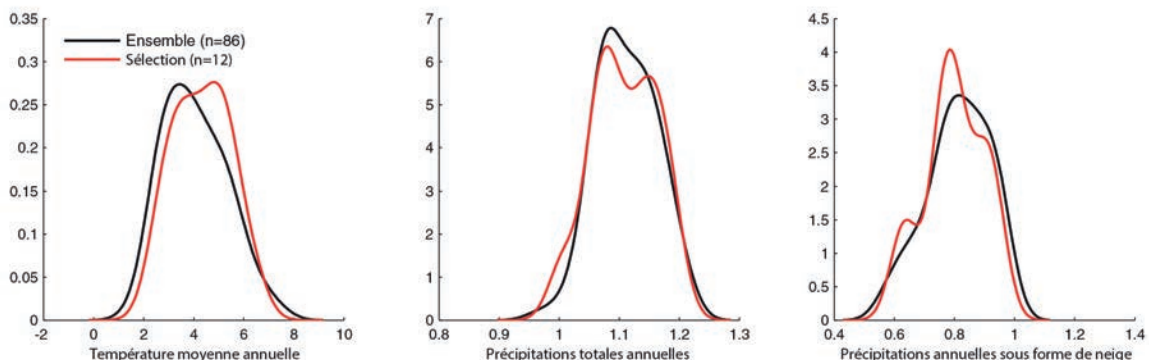


Figure 9 | Maximiser la couverture des distributions de précipitations, de température et de neige en utilisant le plus petit nombre de simulations au sein d'un ensemble plus vaste.

Source : T. Logan (Ouranos)

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 des simulations.

De plus, dans certains cas, une certaine contribution des utilisateurs peut s'avérer nécessaire pour sélectionner une partie précise de la plage³⁷. Par exemple, certains exercices de planification peuvent justifier le besoin d'évaluer les scénarios de la pire

éventualité (p. ex. en ne considérant que le RCP 8.5). Une autre méthode souvent adoptée par les utilisateurs est de sélectionner des scénarios de changement climatique « faible », « moyen » et « élevé » qui couvrent adéquatement la plage de toutes les simulations disponibles. La figure 10 met en évidence un exemple de cette technique, où les sorties de températures estivales et hivernales sont utilisées pour sélectionner les scénarios qui sont le plus proches des 10^e, 50^e et 90^e percentiles des changements de l'ensemble.

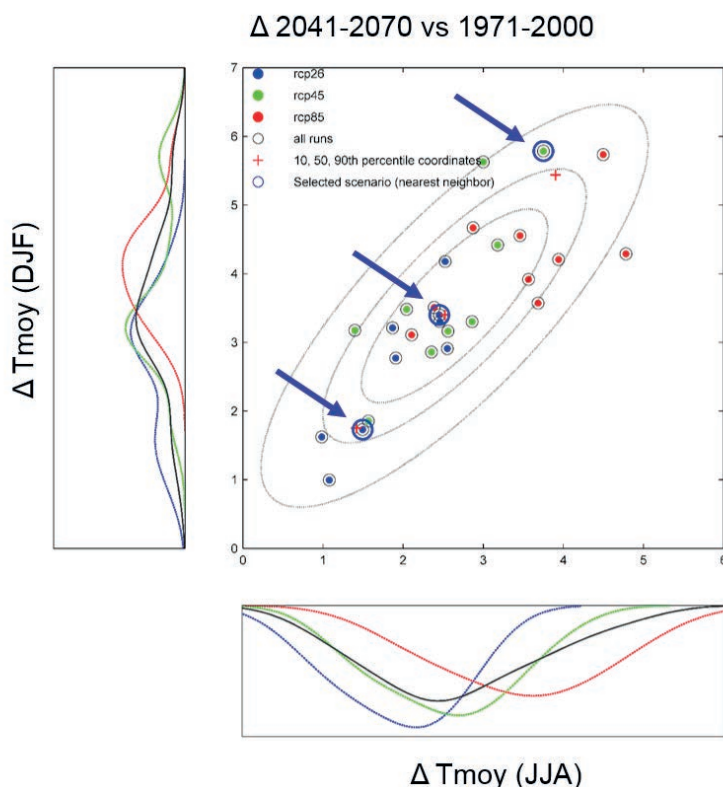


Figure 10 | Changements projetés de la température moyenne d'été (juin, juillet, août) et des précipitations hivernales (décembre, janvier, février). Les changements sont illustrés pour un ensemble de simulations climatiques globales sous trois RCP (2.6, 4.5 et 8.5). Les ellipses indiquent les intervalles de confiance de 10, 50, et 90%. Les scénarios les plus près des 10^e, 50^e et 90^e percentiles de changements sont encadrés et pointés en bleu.

Source: T. Logan (Ouranos)

Limites de la sélection

Un point important à retenir est que les sélections de quelques simulations représentatives sur une gamme de sorties disponibles sont toujours basées sur un nombre limité d'indices climatiques sur une fenêtre temporelle donnée (température et précipitation annuelle par exemple). Ils ne peuvent donc pas être représentatifs d'autres indices sur différentes échelles de temps (couverture de neige mensuelle par exemple). En d'autres termes, la sélection est valable uniquement pour les indices et les horizons temporels qui ont été utilisés pour choisir les scénarios en premier lieu.

1.9 TECHNIQUES DE MISE À L'ÉCHELLE

Les MCG simulent l'évolution du système climatique sur toute la planète, avec une résolution horizontale d'environ 100 à 300 km (figure 11, panneau de gauche), 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 actuellement pas à la portée des ordinateurs les plus puissants. Cependant, le besoin des usagers d'obtenir des projections climatiques à une échelle plus fine est important (panneau de droite sur la figure 11).

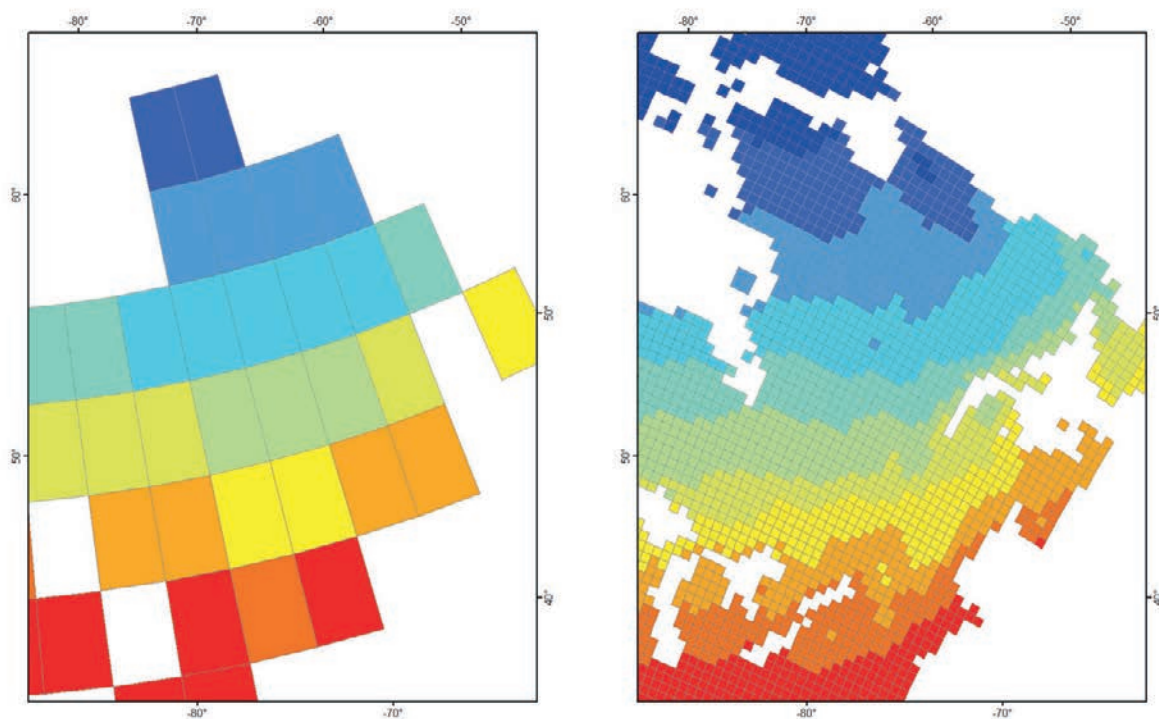


Figure 11 | Exemple de la taille des cellules de la grille entre celle d'un modèle global de climat (panneau de gauche) avec une résolution approximative de 200 km et une information qui a été mise à l'échelle sur une grille de 45 km (panneau de droite).

Source : T. Logan (Ouranos)

Les techniques disponibles pour produire de l'information climatique à plus fine échelle, appelées techniques de mise à l'échelle (figure 12), sont regroupées en deux grandes catégories, soit la mise à l'échelle dynamique et statistique (p. ex.³⁹).

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 en périphérie de variables provenant d'un modèle sous-jacent, généralement 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, telles que les 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 un contexte de changements climatiques, 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 simultanée de 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. 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.

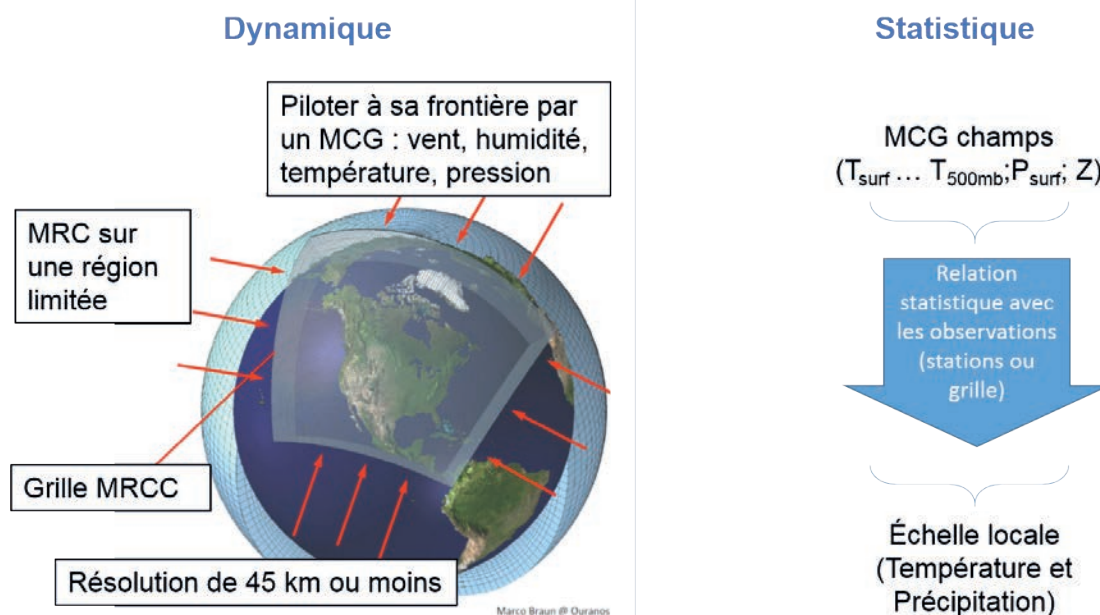


Figure 12 | Comparaison entre les techniques de mise à l'échelle dynamique et statistique.
Source : Ouranos

1.9.1 QUAND UTILISER DES TECHNIQUES DE MISE À L'ÉCHELLE ?

L'idée que des données climatiques à une résolution plus fine soient meilleures peut être attrayante. Cependant, **la mise à l'échelle ne fournira pas nécessairement une 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 à une échelle locale, ce qui pourrait demander de l'information climatique à une résolution plus fine. Par contre, le changement moyen projeté à partir 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 au moyen de la mise à l'échelle dynamique ou statistique, surtout à cause des incertitudes qui affectent les projections de l'ensemble de modèles. **En d'autres termes, la mise à l'échelle peut améliorer la précision d'une partie de l'information fournie, mais pas pour toutes les variables ou tous les horizons temporels.**

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 dynamique peut être préférable; mais ce peut être optionnel dans le cas où l'intérêt réside sur la température d'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.

Mise à l'échelle et correction de biais (post-traitement)

Il y a souvent une certaine confusion entre les concepts de mise à l'échelle et de correction de biais. Les techniques de correction de biais font partie de ce qu'on appelle souvent les techniques de post-traitement (voir la section suivante) et ne sont pas, à proprement parler, liées aux techniques de mise à l'échelle. Cependant, de nombreuses méthodes de mise à l'échelle statistique impliquent une étape de correction de biais. De plus, alors que la mise à l'échelle dynamique en soi ne comporte aucune forme de correction de biais, les sorties des modèles climatiques régionaux sont parfois soumises à une correction de biais. Par conséquent, les utilisateurs pensent souvent à tort que la correction de biais et la mise à l'échelle représentent la même chose.

1.9.2 MISE À L'ÉCHELLE DYNAMIQUE OU STATISTIQUE?

Le choix de la méthode à utiliser n'est pas simple à déterminer puisqu'un grand nombre de facteurs (tableau 3) doivent être considérés par les fournisseurs de services climatiques. D'abord, avec les techniques de mise à l'échelle statistique, chaque variable climatique est généralement traitée de manière individuelle, ce qui peut influencer la cohérence physique entre les variables. En d'autres termes, la représentation mathématique de la physique sous-jacente au climat dans le MCG peut ne pas demeurer vraie. Certaines variables climatiques peuvent être plus sensibles que d'autres à ce problème.

De plus, 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. La disponibilité de données d'observations fiables aux stations est par conséquent indispensable. On présume que ces relations statistiques sont constantes (ou stationnaires) dans le temps, ce qui peut ne pas être vrai dans un climat soumis au changement. Cette hypothèse n'est peut-être pas aussi

problématique pour les projections de certaines variables à court terme, mais l'incertitude est plus grande pour des projections pour la fin du siècle. Enfin, actuellement, le nombre de MCG dépasse de loin le nombre de MRC 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 disponibilité 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.

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 en elle-même. Il n'y a pas de bonne réponse unique à ces questions, le choix final dépend des objectifs du projet et des ressources disponibles.

Tableau 3 | Comparaison des avantages et limites des techniques de mise à l'échelle dynamique et statistique.

Dynamique

- › Caractéristiques du climat plus détaillées
- › Cohérence spatio-temporelle entre les variables
- › Plus coûteux et plus long à produire
- › Nombre plus restreint de simulations issues de modèles régionaux disponibles
- › Plus grand nombre de variables (vent, humidité du sol, etc.)

Statistique

- › Les relations statistiques établies pour le passé sont les mêmes dans le futur
- › Perte potentielle de la cohérence spatio-temporelle (une variable à la fois)
- › Moins coûteux et plus rapide à produire
- › Grand nombre de simulations globales disponibles
- › Dépendant des observations (plus problématique pour certaines variables)

1.10 TECHNIQUES DE POST-TRAITEMENT

Comme discuté plus tôt, les modèles climatiques (MCG et MCR) sont des représentations mathématiques du monde réel et comportent souvent un biais dans leur estimation des variables climatiques. Ceci est une des principales raisons qui expliquent pourquoi les sorties de modèles ne doivent pas être comparées directement aux observations.

Les différences avec la réalité (valeurs observées) font en sorte que les sorties de modèles 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 plus appropriée pour les usagers.

Le biais d'un modèle n'est généralement pas un problème lorsqu'on souhaite simplement calculer les changements relatifs entre un horizon futur et la période de référence à partir de la même simulation (c.-à-d. à partir d'un seul modèle avec le même scénario d'émissions). En effet, on suppose généralement que le biais dans le modèle est identique pour les deux périodes et donc qu'il disparaît lorsqu'on calcule le changement relatif, c'est-à-dire un delta, entre la période de référence simulée et le futur simulé.

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. Ceci est particulièrement important pour le calcul de seuils, qui sont très sensibles à de petits changements. Par exemple, si un modèle a un biais chaud par rapport aux observations, la probabilité d'atteindre un seuil de température chaude (par exemple des jours avec une température moyenne supérieure à 30 °C) sera amplifiée dans les données simulées par rapport au monde réel. Par conséquent, si le biais n'est pas corrigé, un décideur peut conclure qu'à l'avenir il y aura plus de jours avec une température moyenne supérieure à 30 °C, lorsque cela est en fait tout simplement un artefact du biais du modèle.

De nombreuses techniques de post-traitement existent; leur description détaillée dépasse l'objectif de ce guide^{40,41}. Par contre, deux méthodes simples sont présentées ici, afin de souligner l'objectif général des méthodes de post-traitement.

Notez que l'hypothèse principale du post-traitement veut que les biais soient presque identiques pour la période de référence et la période future, ce qui n'est peut-être pas toujours le cas. De plus, 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.

Un avertissement important en ce qui concerne la technique de post-traitement doit être soulevé.

Ces techniques reposent fortement sur le réseau d'observation, et donc les seules variables qui peuvent être post-traitées sont celles pour lesquelles des observations sont disponibles. Aux États-Unis et dans une grande partie de l'Europe, un réseau de haute densité fournit généralement un nombre suffisamment élevé de stations météorologiques dans différents types d'emplacements, à l'exclusion possible des hautes montagnes. Ainsi il est possible de construire un ensemble de données d'observation adéquat pour certaines variables, à savoir la température et/ou la précipitation. Au Canada, en particulier dans le Nord, la densité des stations est très faible et fortement biaisée, car la plupart des stations sont situées le long de la côte et dans les vallées. Les stations météorologiques sont également très loin les unes des autres. Une telle représentation grossière de la réalité est également présente dans les ensembles de données d'observation maillées (sur grille), qui sont créés à partir de l'interpolation des données de stations pour combler les régions où il n'y a pas de station. Enfin, le post-traitement est seulement aussi bon que les observations qui sont utilisées pour l'accomplir, et compte tenu des limitations soulignées ici, la prudence est souvent conseillée.

1.10.1 MÉTHODE DE DELTA (AUSSI APPELÉ MÉTHODE DE PERTURBATION)

Cette méthode utilise une perturbation des données climatiques observées selon le changement relatif entre la période de référence simulée et la période future simulée. Le changement relatif est d'abord calculé entre la période de référence et future (figure 13a) et ce changement (delta) est ensuite appliqué à la série temporelle observée (figure 13b). Cette méthode peut se faire en utilisant deux approches : en calculant un changement moyen sur l'ensemble de la distribution des observations

ou en utilisant les quantiles de la distribution (p.ex.⁴²). Cette dernière permet d'utiliser un facteur de correction différent pour les queues de distribution, de sorte qu'il est possible d'en changer les extrémités différemment du reste de la distribution. Un point important ici est que cette technique est appliquée à des horizons temporels spécifiques tels que les périodes de 30 ans, et non pas à l'ensemble de la série temporelle.

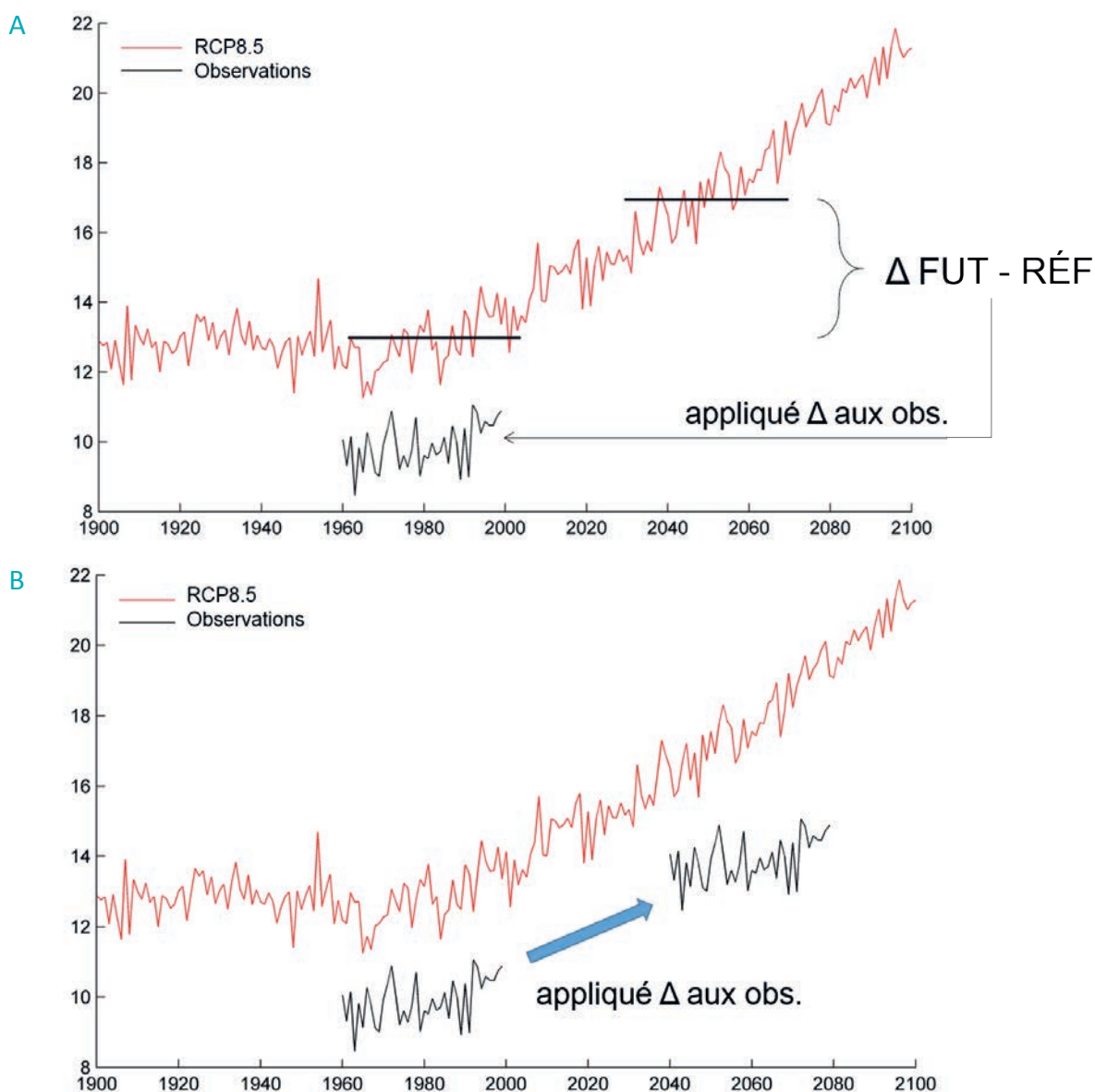


Figure 13 | Exemple de la méthode de post-traitement par delta. Le changement relatif entre la période de référence et la période future est calculé (A) et appliqué à la série temporelle observée (B).

Source : T. Logan (Ouranos)

1.10.2 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 premièrement calculé à partir d'une comparaison entre la période de référence simulée et les données observées sur la même période,

par exemple 1961-1990 (figure 14a). La correction est ensuite appliquée sur la série temporelle complète (figure 14b). Tout comme la méthode de delta, cette technique peut être basée sur une correction moyenne ou sur les quantiles. Par contre, contrairement à la méthode de perturbation, où la correction est appliquée sur un horizon temporel donné, le biais ici peut être retiré de la série temporelle complète.

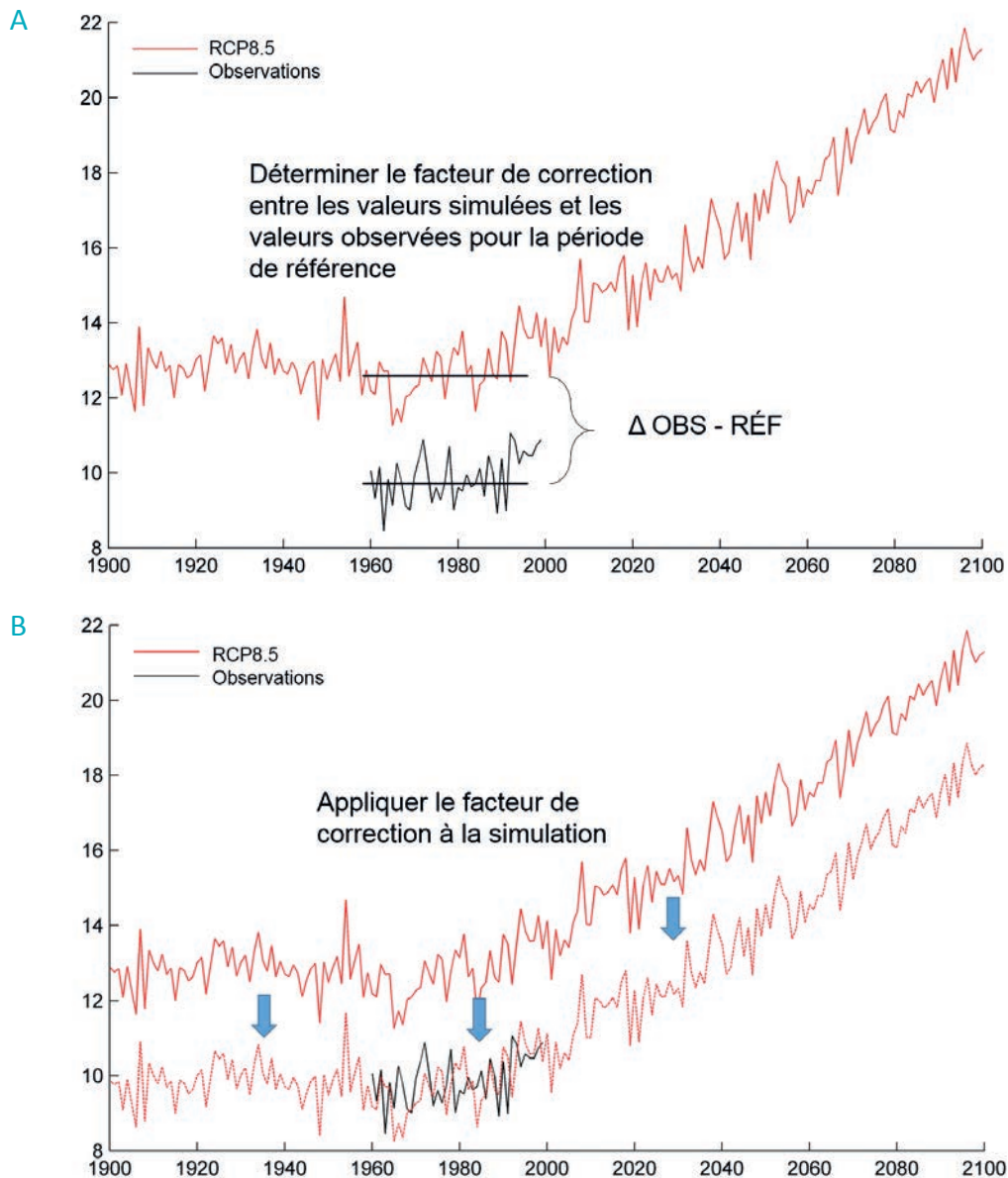


Figure 14 | Exemple d'une technique de correction de biais. Le changement relatif entre les valeurs de référence et les observations est calculé (A) et ce biais est retiré de la série temporelle simulée complète (B).

Source : T. Logan (Ouranos)

1.11 SCÉNARIOS CLIMATIQUES (SCÉNARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE)

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 adapté aux besoins des usagers que les sorties d'un modèle climatique. 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 (p. ex. sur des années, des saisons, ou des jours). Ils sont probablement le produit d'information climatique le plus utilisé pour évaluer les répercussions potentielles des changements climatiques.

Les scénarios climatiques sont généralement regroupés dans les classes suivantes :

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

1.11.1 PÉRIODE DE RÉFÉRENCE ET HORIZONS FUTURS

Les scénarios de changements climatiques comparent le climat moyen entre une période passée, appelée la période ou l'horizon de référence, et un horizon futur. Étant donné que la variabilité interannuelle peut rester importante dans le temps, la longueur des périodes de référence et futures doit être relativement longue pour clairement détecter les tendances des changements projetées. Deux périodes principales sont utilisées, l'une est une moyenne de 30 ans, dont l'horizon de référence correspond à la même échelle de temps que celui utilisé pour calculer les normales climatiques (normes de l'OMM). **À noter toutefois qu'une distinction importante doit être faite avec les normales climatiques, qui sont calculées à partir des observations et des données sur la période de référence, qui sont calculées à partir de simulations climatiques.** Les moyennes peuvent également être calculées sur des périodes de 20 ans, comme cela est le cas dans la plupart des rapports du GIEC.

Les horizons futurs suivront la même période de temps que celle choisie pour la période de référence, ce qui signifie que si la période de référence utilisée est de 30 ans, les horizons futurs seront également de 30 ans.

Les périodes de temps des horizons de référence et futurs utilisées par les centres de recherche sur le climat sont révisées tous les dix ans. Par exemple, il y a quelques années, la période de référence utilisée par l'OMM était 1971-2000, alors qu'elle correspond maintenant à la période 1981-2010 (le rapport AR5 du GIEC utilise 1986-2005).

1.11.2 CONSTRUIRE LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Un des plus importants messages à retenir des « meilleures pratiques » lors de la production ou l'utilisation de scénarios climatiques s'avère la construction à partir de simulations climatiques. Par conséquent, les scénarios comparent des valeurs simulées pour le passé (période de référence) avec des valeurs simulées pour l'avenir (futur horizon). Ces comparaisons sont faites à l'intérieur de chaque simulation individuellement.

Les projections climatiques ne doivent JAMAIS être comparées directement avec les observations. Les sorties des modèles climatiques ou des simulations ne peuvent pas être comparées directement avec les observations étant donné que les résultats des modèles climatiques sont toujours légèrement différents (section 1.10) ou biaisés par rapport aux véritables observations (figure 15). En outre, pour les précipitations, les projections des modèles simulent la quantité totale de précipitations dans l'atmosphère, qui tomberait sur une cellule entière de la grille, tandis que l'observation mesure seulement la quantité qui tombe sur le capteur à un emplacement précis de station.

À titre d'exemple, la figure 15 présente une simulation climatique (ligne rouge) qui produit des valeurs qui sont plus élevées que les véritables observations (ligne noire) sur la période 1961-1990. En d'autres termes, cette simulation est biaisée plus chaude que les observations. Par conséquent, si une comparaison est faite entre les valeurs futures simulées et les observations (panneau supérieur), le changement projeté est exagéré (6 °C). D'autre part, si le changement projeté est calculé à l'aide de valeurs futures simulées et de valeurs passées simulées (panneau du bas), le changement qui en résulte est inférieur (3 °C), puisque le biais chaud de la simulation est éliminé. Étant donné que chaque simulation donne des résultats légèrement différents, la seule façon d'assurer que les changements projetés ne soient pas des artefacts des biais, est de calculer les deltas pour chaque simulation et non avec les observations ou entre les simulations.

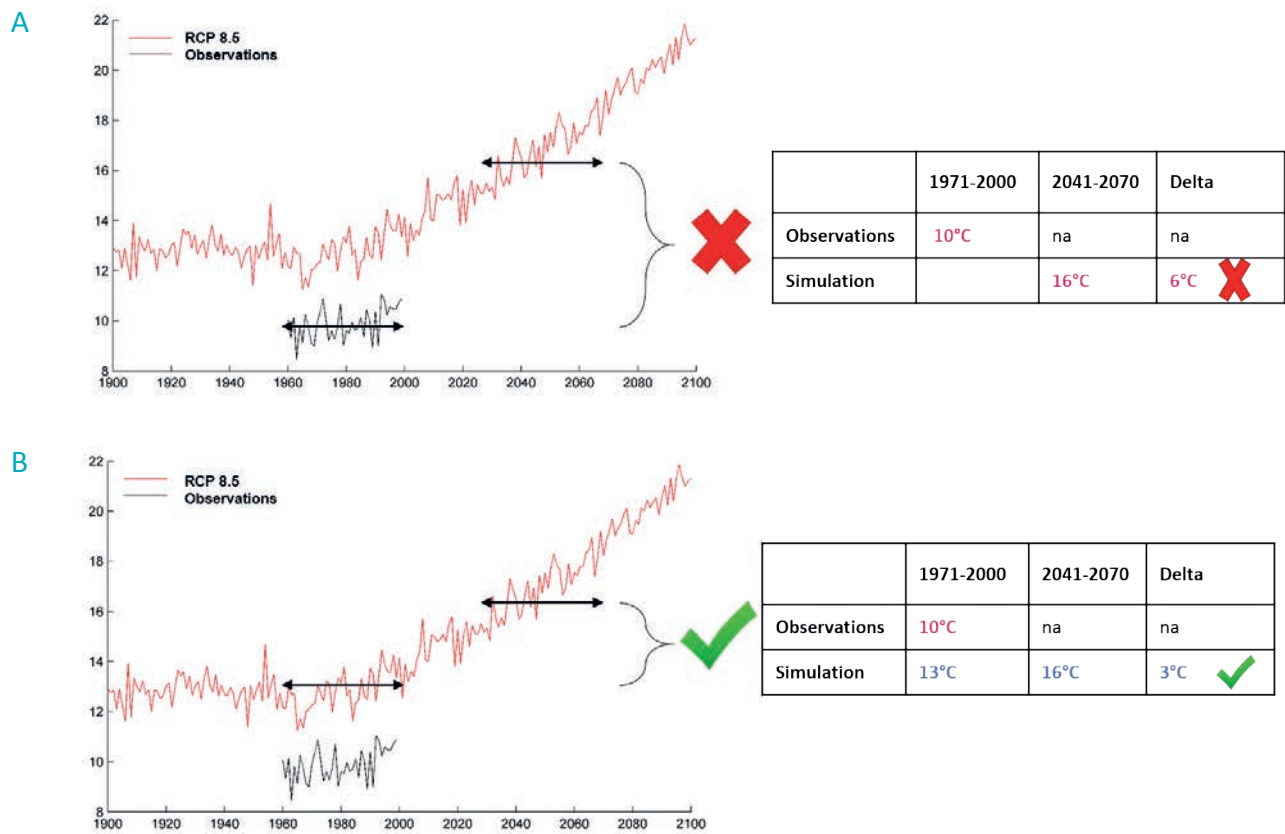


Figure 15 | La construction d'un scénario climatique fait de façon inadéquate (A) en comparant les valeurs futures simulées avec les observations passées et fait de façon adéquate (B) en comparant les valeurs simulées sur la période de référence et la période future.
Source : T. Logan (Ouranos)

Il est important de se rappeler que les techniques de post-traitement (section 1.10) sont souvent utilisées pour éliminer une partie du biais dans les simulations climatiques afin d'avoir une meilleure correspondance entre les valeurs simulées et les valeurs observées. Cependant, cette corrélation

n'est jamais parfaite et les scénarios climatiques doivent quand même être calculés en utilisant les valeurs simulées pour le futur et la période de référence, même si les biais des simulations ont été corrigés.





CHAPITRE DEUX

CLASSIFICATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE

Une partie du défi à intégrer l'information climatique dans un cadre d'adaptation ou dans un processus de prise de décision est de décider quel type d'information climatique est nécessaire. En effet, alors que le chapitre précédent expliquait un grand nombre des concepts sous-jacents à la science du climat, il est tout aussi important pour un décideur de comprendre les différents produits d'information climatique qui peuvent être utilisés pour fournir cette information.

Afin de familiariser les décideurs avec l'information climatique et ses différentes utilisations, ce chapitre présente un cadre de catégorisation simple qui divise l'information climatique en trois niveaux : l'information **de base**, **intermédiaire**, et **détaillée**. Le choix de l'information la plus appropriée est souvent fait en collaboration avec les fournisseurs de services climatiques. Le but ici est d'aider les décideurs à mieux évaluer leurs besoins en termes d'information climatique.

Deux concepts principaux sont abordés ici : les **catégories d'information climatique**, qui déterminent les données climatiques nécessaires et les **formats d'information climatique**, qui illustrent les données.

2.1 CATÉGORIES D'INFORMATION CLIMATIQUE

Les catégories d'information climatique représentent des données climatiques ou des informations sur le climat; à savoir la variable ou l'indice climatique, l'horizon temporel et la résolution du modèle. Les catégories sont basées sur quelques critères clés spécifiquement liés au type d'information requis. Ces critères sont présentés à la figure 16. Les catégories sont destinées à diviser l'information climatique en trois grands niveaux de complexité, partant d'une information assez simple à préparer et à comprendre vers une information plus complexe à produire et souvent plus difficile à comprendre, et où les incertitudes sont plus importantes.

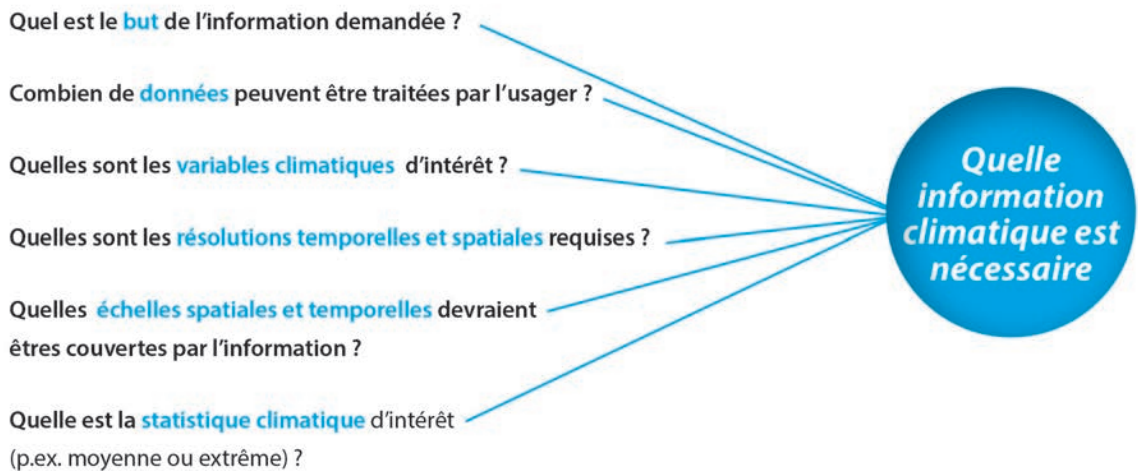


Figure 16 | Exemples de questions à considérer afin d'évaluer les besoins des décideurs en information climatique. Adapté de Lu, 2006⁴³

Catégories et type de décideur

Les catégories d'information climatique **ne reflètent pas** un type de décideur, mais reflètent plutôt le but de l'information requise, et les spécificités de l'information climatique. Ceci implique que parfois des utilisateurs très familiarisés avec l'information climatique peuvent demander de l'information de base, tandis que des utilisateurs peu familiers avec l'information climatique peuvent avoir besoin d'informations détaillées.

Il est important de noter que tous les critères présentés à la figure 16 peuvent être tout aussi importants pour influencer le résultat de la classification. Ainsi, il est possible que l'évaluation des impacts des changements climatiques (exemple d'utilité dans le tableau 4) sur une espèce donnée ne soit pas automatiquement classée dans la catégorie intermédiaire, car cela dépendra aussi, par exemple, des variables climatiques requises. De même, l'évaluation des options d'adaptation ne se retrouve pas, automatiquement dans la catégorie d'information détaillée.

Les catégories présentées ici sont des entités bien définies, mais en fait, elles représentent un gradient croissant de complexité dans les données climatiques demandées et/ou produites. Des exemples de réponses à chacune des questions (figure 16), et la façon dont elles peuvent être associées à une catégorie sont présentés dans le tableau 4.

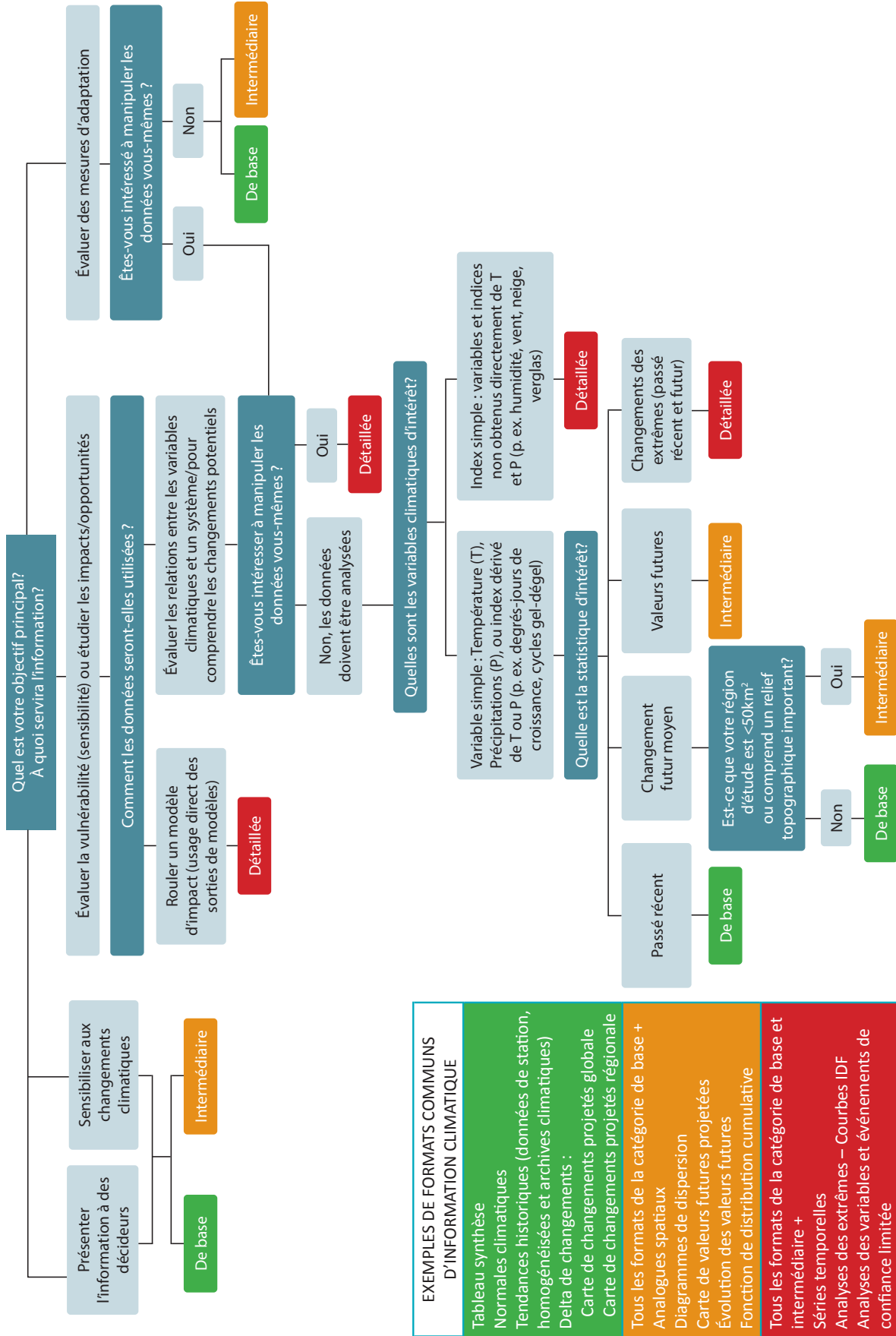
Tableau 4 | Résumé des trois catégories d'information climatique; de base, intermédiaire et détaillée.

CATEGORIE	EXEMPLE D'UTILITÉ	EXEMPLE D'INDICE CLIMATIQUE	EXEMPLE DE RÉOLUTION SPATIALE	EXEMPLE DE STATISTIQUE CLIMATIQUE	Augmentation de la complexité de la variable climatique, de la résolution spatiale et temporelle, des incertitudes liées à l'information fournie et de la quantité de données
DE BASE	- sensibilisation initiale - survol des risques - gouvernance de haut niveau	Température annuelle, précipitations annuelles	Grossière (p. ex. le globe)	Changement moyen (delta)	
INTERMEDIAIRE	- évaluation des vulnérabilités - étude d'impact - amélioration de la résilience - développement initial d'un plan d'adaptation	Degrés-jours de croissance, Degrés-jours de chauffage, cycle de gel-dégel	Variable (p. ex. un pays, une province, un bassin versant)	Valeurs futures	
DÉTAILLÉE	- évaluation des mesures d'adaptation - recherche et développement - gouvernance locale	Vent	Généralement plus fine (p. ex. une municipalité)	Extrêmes	

Veillez noter que le but n'est pas nécessairement de « progresser » d'une catégorie à la suivante, mais plutôt de choisir la catégorie la plus appropriée. Pour certains utilisateurs, il y aura une progression du type d'information requise, selon leurs connaissances actuelles et les types de décisions qui doivent être prises au fil du temps. Cependant, pour d'autres, une information climatique de base sera suffisante pour éclairer des décisions pourtant assez complexes.

Pour aider davantage les utilisateurs à visualiser et à évaluer leur propre besoin en termes d'information climatique, les critères décrits ci-dessus ont été utilisés pour développer un arbre de décision (figure 17) qui est essentiellement une feuille de route pour produire de l'information climatique. En répondant aux questions de cet arbre décisionnel, les utilisateurs sont guidés à l'une des trois grandes catégories d'information.

Figure 17 | Arbre de décision pour catégoriser l'information climatique.



EXEMPLES DE FORMATS COMMUNS D'INFORMATION CLIMATIQUE
Tableau synthèse Normales climatiques Tendances historiques (données de station, homogénéisées et archives climatiques) Delta de changements : Carte de changements projetés globale Carte de changements projetés régionale
Tous les formats de la catégorie de base + Analogues spatiaux Diagrammes de dispersion Carte de valeurs futures projetées Évolution des valeurs futures Fonction de distribution cumulative
Tous les formats de la catégorie de base et intermédiaire + Séries temporelles Analyses des extrêmes – Courbes IDF Analyses des variables et événements de confiance limitée

2.2 FORMATS D'INFORMATION CLIMATIQUE

Comme mentionné plus tôt, 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 exploitables. *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 certaines expertises ou préférences.

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 (l'information climatique) peuvent être communiqués sous la forme d'un tableau, d'une carte ou d'une régression (le format).

Les formats présentés dans le guide ont été séparés en trois catégories d'information climatique. Cependant, tout comme ce fut le cas pour les catégories, les formats sont classés en fonction d'un gradient, soit de représentations très simples de données climatiques à des visuels plus complexes. Il peut être parfois difficile de les associer clairement à une catégorie spécifique. Plus important encore, les données climatiques requises peuvent être complexes, tout en nécessitant d'être présenté de façon simplifiée.

Formats et types d'utilisateurs

Les formats d'information climatique représentent la façon de présenter les données climatiques et **reflètent un type de décideur ou d'utilisateur**, leurs expertises et leurs préférences.





CHAPITRE TROIS

FORMATS D'INFORMATION
CLIMATIQUE

L'objectif de cette section est de présenter différentes manières de personnaliser la présentation de l'information climatique. **En d'autres mots, 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. 43), d'une carte (p. 49) ou d'un graphique traçant l'évolution du changement en fonction du temps (p. 59).

Dans la mesure du possible, le guide présente le plus grand nombre de formats couramment utilisés (tableau 5). Cependant, de nouveaux formats sont continuellement développés par les fournisseurs de services climatiques, et des formats particuliers peuvent également être créés pour répondre aux préférences des décideurs ou aux particularités d'un projet.

Afin d'augmenter la capacité des décideurs à évaluer de manière critique les informations qui leur sont fournies, toutes les figures, les graphiques et les cartes présentés dans cette section sont accompagnés d'explications qui décrivent : 1) quelle information climatique est présentée et comment l'interpréter, 2) la façon dont la figure est construite et 3) quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles des différents formats. De plus, l'utilisation de **caractères gras de couleur** rappellera au lecteur que des informations supplémentaires sur les principaux concepts de la science du climat peuvent être trouvées au Chapitre 1.

Tableau 5 | Vue d'ensemble des formats d'information présentés pour les trois catégories d'information climatique.

CATEGORIE	TYPE D'INFORMATION GÉNÉRALEMENT FOURNIE	EXEMPLES DE FORMATS COURANTS D'INFORMATION
DE BASE	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 (données stations, données homogénéisées) Changements (delta) : Carte globale Carte régionale
INTERMÉDIAIRE	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 Diagramme de dispersion Carte des valeurs futures projetées Évolution des valeurs futures Fonction de distribution cumulative
DÉTAILLÉE	Changements futurs des moyennes, valeurs absolues ou extrêmes, sur des échelles spatiales plus fines	Tous les formats des catégories de base et intermédiaire, plus : Séries temporelles Analyse des extrêmes – Courbes IDF Analyse d'événements et d'indices climatiques de confiance limitée



CATÉGORIE 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 offert dans les rapports sommaires et sur les sites Internet. 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 la façon dont l'information climatique passée et future peut être personnalisée au moyen de différents formats. Du plus simple au plus complexe :

- › **Tableau synthèse** – utilisé pour présenter tant les changements passés que futurs.
- › **Normales climatiques** – utilisées pour présenter les moyennes climatiques (p. ex. sur 30 ans).
- › **Tendances historiques** – utilisées pour présenter l'évolution à long terme du climat passé.
- › **Changement (delta)**
 - **Carte globale** – utilisée pour présenter les changements projetés à l'échelle mondiale.
 - **Carte régionale** – utilisée pour présenter les changements projetés à une échelle spatiale plus fine.

1. TABLEAU SYNTHÈSE

Tableau 6 | Sommaire du changement climatique projeté de la Colombie-Britannique pour l'horizon 2050 (2041-2070), comparé à la période de référence 1961-1990. Les valeurs sont calculées à partir d'un ensemble de 30 simulations 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>)

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

Quelle information climatique est présentée et comment l'interpréter?

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.

Les changements présentés dans le tableau sont sans ambiguïté : des augmentations sont projetées pour les températures annuelles moyennes, les degrés-jours de croissance, le nombre annuel de jours sans gel, ainsi que pour les précipitations annuelles et hivernales pour la Colombie-Britannique. Par contre, le changement médian moyen des précipitations d'été présente une faible baisse. La plage de valeurs souligne qu'il peut y avoir d'importantes différences entre toutes les **simulations** utilisées. Par exemple, tandis qu'une simulation projette une augmentation de l'ordre de +179 degrés-jours annuellement, une autre projette plutôt une augmentation de +429 degrés-jours par année.

Comment le tableau est-il construit?

Les tableaux synthèses peuvent résumer des tendances historiques ou des changements projetés 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 d'intérêt, par exemple à l'échelle mondiale, provinciale ou régionale.

Les changements projetés présentent le changement entre l'horizon 2050 (2041-2070) et la période de référence 1961-1990 à partir de 15 **modèles climatiques globaux** avec 2 scénarios d'émissions **SRES**. Un point important à noter, comme présenté à la section 1.11.2, 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 à partir de la médiane de l'**ensemble de modèles** et de 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 (30 dans ce cas), alors que la plage représente les 10^e et 90^e percentiles de toutes les valeurs. La plage de valeurs des différents modèles est généralement appelée l'**incertitude**, même si elle comprend plus que les simples différences entre modèles.

Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles 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. Par exemple, dans ce cas particulier, les valeurs données sont pour toute la Colombie-Britannique, une province où le relief topographique est très variable. Il est donc facile d'imaginer que les changements « moyens » du 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. Plus important encore, en raison de la variabilité naturelle du climat, il se peut que pour certaines années individuelles (ou pour une série d'années consécutives), le changement soit en opposition au changement moyen calculé sur la période de 30 ans (2041-2070). En d'autres termes, alors que le tableau présente une augmentation des températures annuelles moyennes par rapport à la période de référence, il est fort probable que certaines années dans le futur présentent des températures annuelles plus faibles que la moyenne sur la période de référence.

2. NORMALES CLIMATIQUES

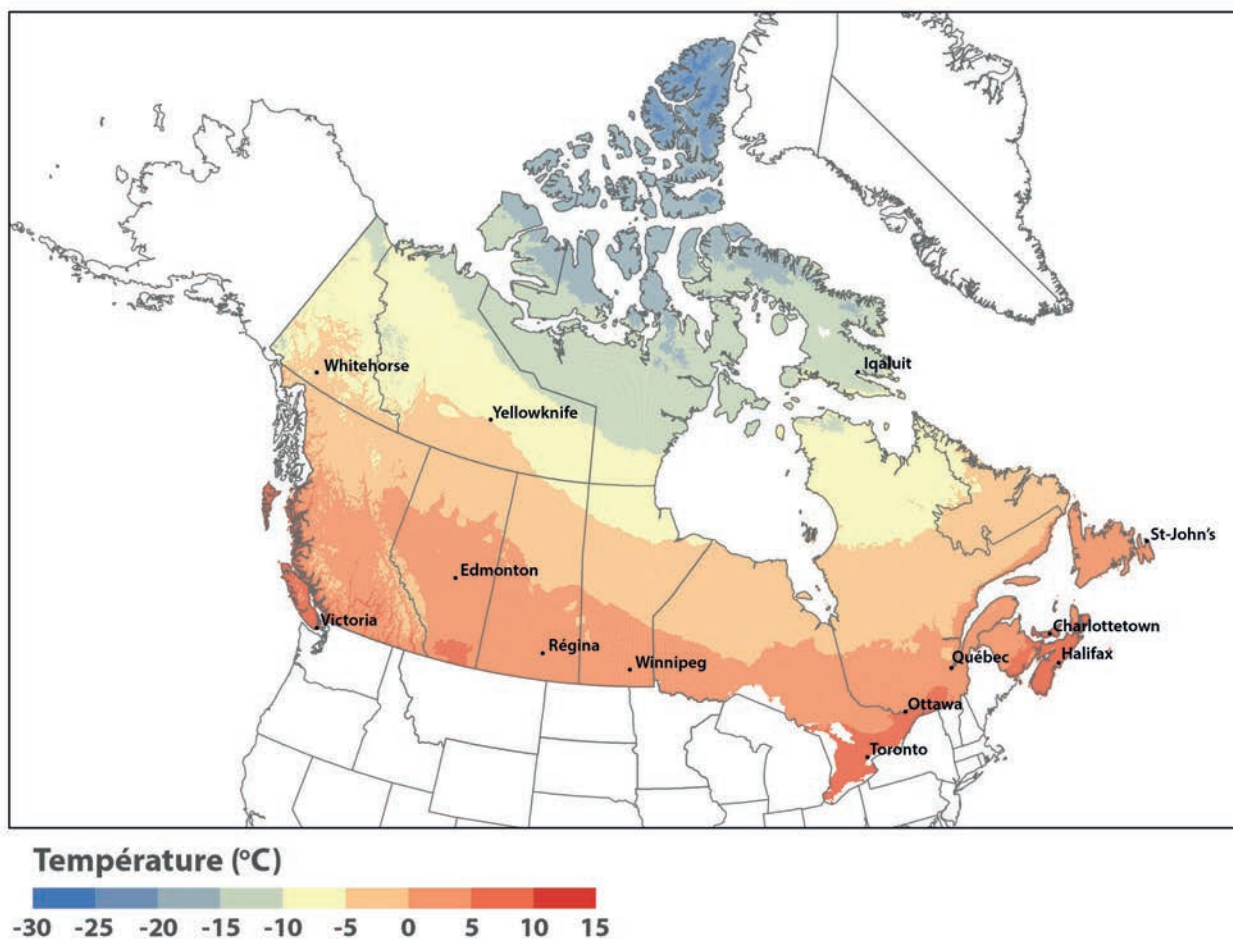


Figure 18 | Normales climatiques de la température annuelle moyenne (°C) pour la période de référence 1971-2000. Les valeurs sont calculées à partir de données de stations météorologiques d'Environnement et Changement climatique Canada qui ont été interpolées sur une grille de 10 km par 10 km et disponibles sur un site de RNCar⁴⁵⁻⁴⁶.

Source : T. Logan, Ouranos

? **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

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

La figure démontre que les températures annuelles 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.

🔧 **Comment la figure est-elle construite?**

Les **normales climatiques** 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 cycles gel-dégel. La moyenne des données des stations météorologiques peut également être calculée pour une région d'intérêt donnée et pour n'importe quelle échelle temporelle (selon les données disponibles).

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 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.

⚠️ **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

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 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 Canada⁴⁴. Elles se présentent sous la forme d'un ensemble de données maillées qui couvre tout le Canada, avec une taille de grille de 10 km sur 10 km (les données de stations météorologiques d'Environnement et Changement climatique 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. TENDANCE HISTORIQUE

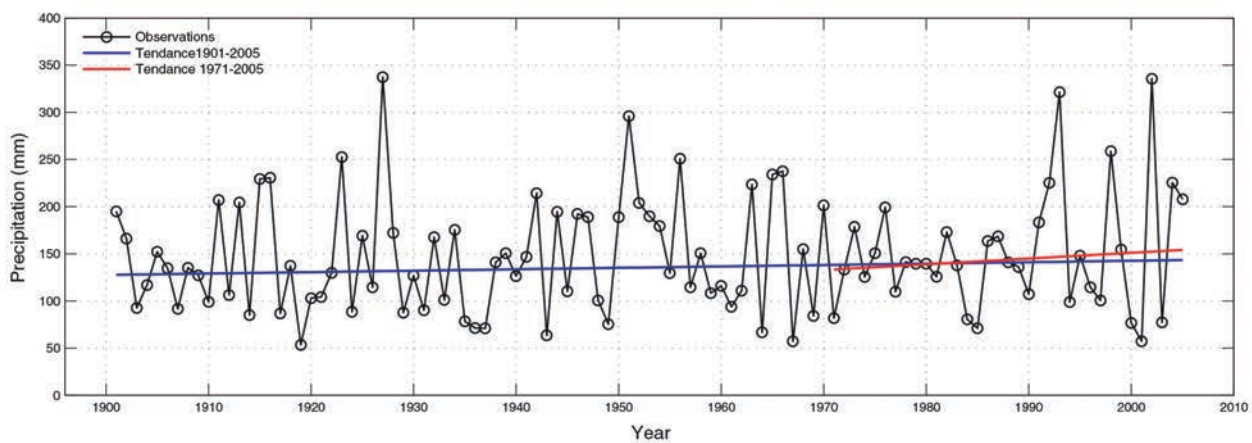
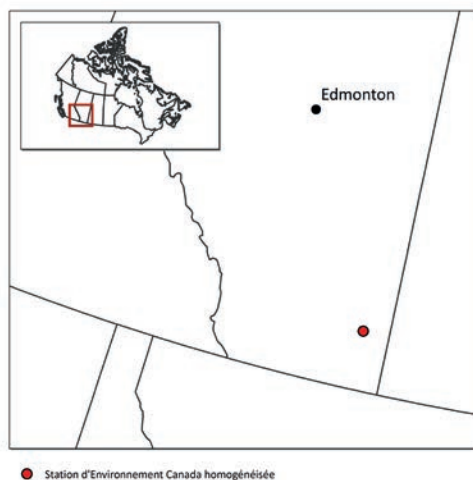


Figure 19 | Série temporelle historique de la précipitation totale annuelle (mm) pour la période 1905-2005 pour une station homogénéisée d'Environnement et Changement climatique Canada⁴⁶. Les tendances pour les périodes 1901-2005 et 1971-2005 sont montrées en bleu et rouge, respectivement.
Source : T. Logan, Ouranos

? **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

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

La figure montre l'étendue de la **variabilité naturelle** (ligne noire) des précipitations annuelles totales 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 que bien que la tendance 1901-2005 est négligeable, les précipitations commencent à augmenter dans les années 1970.

🔧 **Comment la figure est-elle construite?**

Les tendances observées sont calculées au moyen d'une série temporelle de données climatiques d'une station de données d'Environnement et Changement climatique Canada indiquée sur la carte, soit les Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées (DCCA)⁴⁶. 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 données 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 les températures moyennes, 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 appelée pente de Sen.

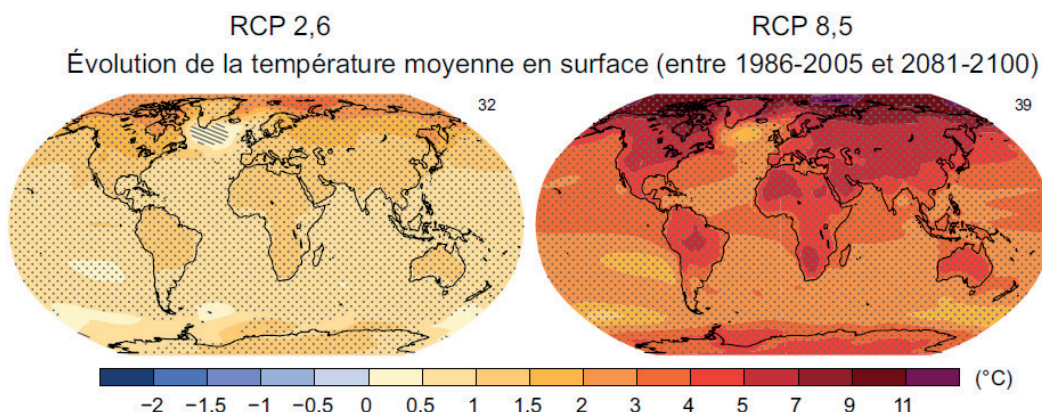
⚠️ **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

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. 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. Par exemple, 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, le fait qu'une tendance passée est pertinente pour le futur ne peut être supposé. De plus, baser une décision sur une tendance passée 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.

4. CARTE DE CHANGEMENTS (DELTA)

A



B

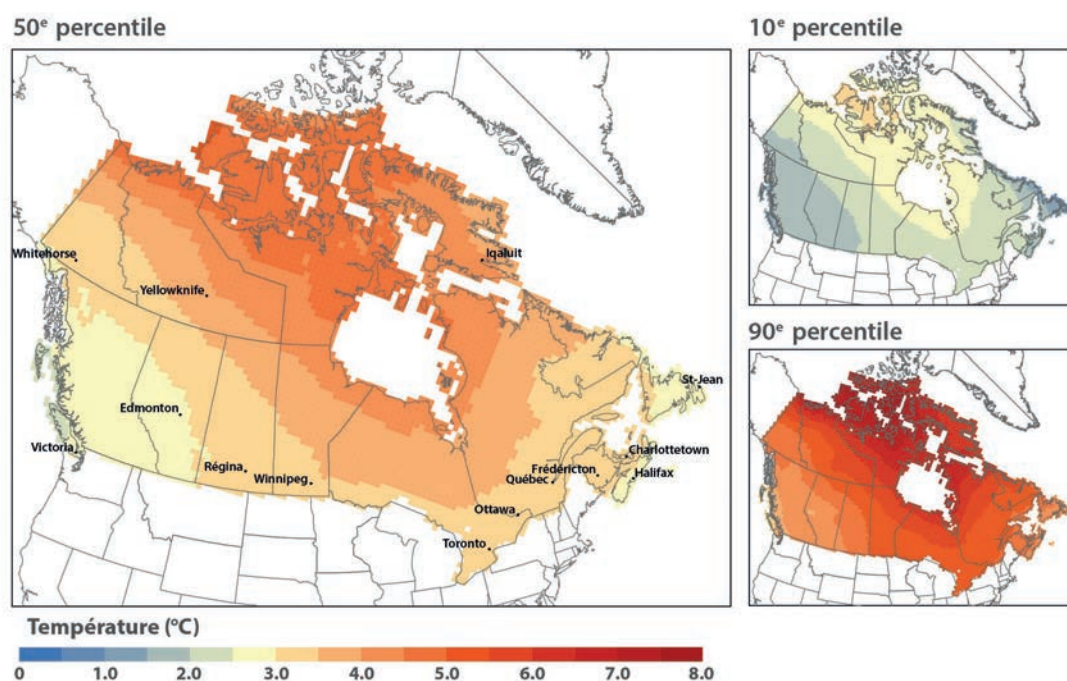


Figure 20| A. Carte des résultats moyens multimodèles CMIP5 pour les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 en 2081-2100, pour le changement de température de surface moyenne annuelle. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèle est indiqué dans le coin supérieur droit de chaque illustration. Une région est hachurée lorsque la moyenne multimodèle est élevée par rapport à la variabilité naturelle (c.-à-d. plus grande que deux écarts types de la variabilité interne naturelle dans les moyennes sur 20 ans) et lorsqu'au moins 90 % des modèles comportent le même signe de changement.
Source : IPCC 2013¹⁹

B. 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 le 90^e percentiles pour chaque cellule de grille de l'ensemble.
Source : T. Logan, Ouranos

? **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

La figure du haut montre les changements **projetés** de température moyenne annuelle sur toute la planète pour l'**horizon** 2081-2100 comparé à la **période de référence** 1986-2005 selon les **RCP2.6** et **8.5**, comme publiés en 2013 par le GIEC dans leur plus récent rapport d'évaluation¹⁹. La figure suggère que la région de l'Arctique se réchauffera plus rapidement que la moyenne globale et que le réchauffement terrestre sera plus élevé que sur les océans.

La figure du bas présente aussi un changement projeté de température annuelle moyenne, mais pour une plus petite région, soit le Canada pour l'horizon 2080 (2071-2100), comparé à la période de référence 1971-2000. 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.

Comment la figure est-elle construite?

L'information présentée dans ces deux figures est essentiellement la même que celle donnée dans les tableaux synthèses, sauf que les changements attendus sont présentés sous forme de cartes, généralement basées sur des données sur grille. Les changements sont calculés pour un horizon futur spécifique en le comparant à la période de référence (ce qui est souvent désigné comme la méthode delta). La différence est calculée pour chaque polygone (point de grille) et pour toutes les **simulations climatiques** qui ont été choisies. Les changements peuvent être calculés pour différents laps de temps, comme les variations mensuelles, saisonnières ou annuelles.

Dans les deux figures, un grand nombre de modèles ont été utilisés pour calculer les changements. Dans la figure A, 32 **modèles** de l'ensemble de **CMIP5** ont été utilisés avec le **scénario d'émissions RCP2.6** et 39 modèles CMIP5 avec le **RCP8.5**. Pour la figure B, les changements ou les deltas ont été obtenus en utilisant 137 **simulations de l'ensemble CMIP3** en utilisant 3 **scénarios d'émissions SRES** (A2, A1b, B1). Les changements sont ensuite reportés sur une grille commune. À noter que la taille des polygones est calculée en fonction de la résolution des modèles climatiques

utilisés. Par exemple, les MCG ont généralement une résolution d'environ 200-300 km tandis que les MCR ont une résolution d'environ 45 km et moins.

Pour synthétiser les sorties de toutes les simulations utilisées, une moyenne (comme dans la figure du haut) ou une médiane (comme dans la figure du bas) de l'ensemble est souvent représentée. Comme pour le tableau de synthèse, la plage des résultats des simulations, qui donne une estimation de l'**incertitude** dans les **projections**, devrait également être représentée. Dans la figure A (globe), cela se fait par l'utilisation de hachures qui indiquent si la moyenne multimodèle est petite ou grande en comparaison avec la **variabilité naturelle**. Dans la figure B (Canada), cela se fait en donnant non seulement la valeur médiane de l'**ensemble des simulations** (panneau de gauche), mais en donnant également des cartes complémentaires qui montrent la plage, exprimée par les 10^e et 90^e percentiles. Le choix des percentiles est arbitraire, et pourrait prendre n'importe quelle valeur, tels que les percentiles 25^e et 75^e par exemple.



Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?

Bien que cette figure indique que les températures augmentent sur une grande échelle spatiale, elle souligne également que différentes régions ne connaîtront pas une augmentation identique. Par conséquent, ce type d'information climatique peut être utile pour sensibiliser les parties prenantes aux changements climatiques. Elles indiquent que les changements locaux peuvent varier de manière importante par rapport à ce portrait mondial. Ainsi, l'utilisation de telles projections implique que la pertinence locale des décisions d'adaptation est moins certaine.

De plus, les valeurs de telles figures présentent le changement qui est estimé par les modèles; cependant, afin de prendre conscience de l'ampleur potentielle du changement, il est souvent nécessaire de combiner cette information avec celle des 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.



CATÉGORIE INTERMÉDIAIRE

Cette catégorie ne comprend que de l'information sur les changements climatiques projetés. 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. Du format le plus simple au plus complexe :

- › **Analogie spatiale** – utilisé pour présenter l'état du climat historique à l'avenir.
- › **Diagramme de dispersion** – utilisé pour montrer les changements de variables climatiques projetés par différentes simulations climatiques.
- › **Carte de valeurs futures projetées** – utilisée pour présenter les valeurs futures projetées d'une variable climatique.
- › **Évolution des valeurs futures** – utilisée pour montrer l'évolution projetée de valeurs futures.
- › **Fonction de distribution cumulative** – utilisée pour présenter la distribution des valeurs projetées.

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

1. ANALOGUE SPATIAL

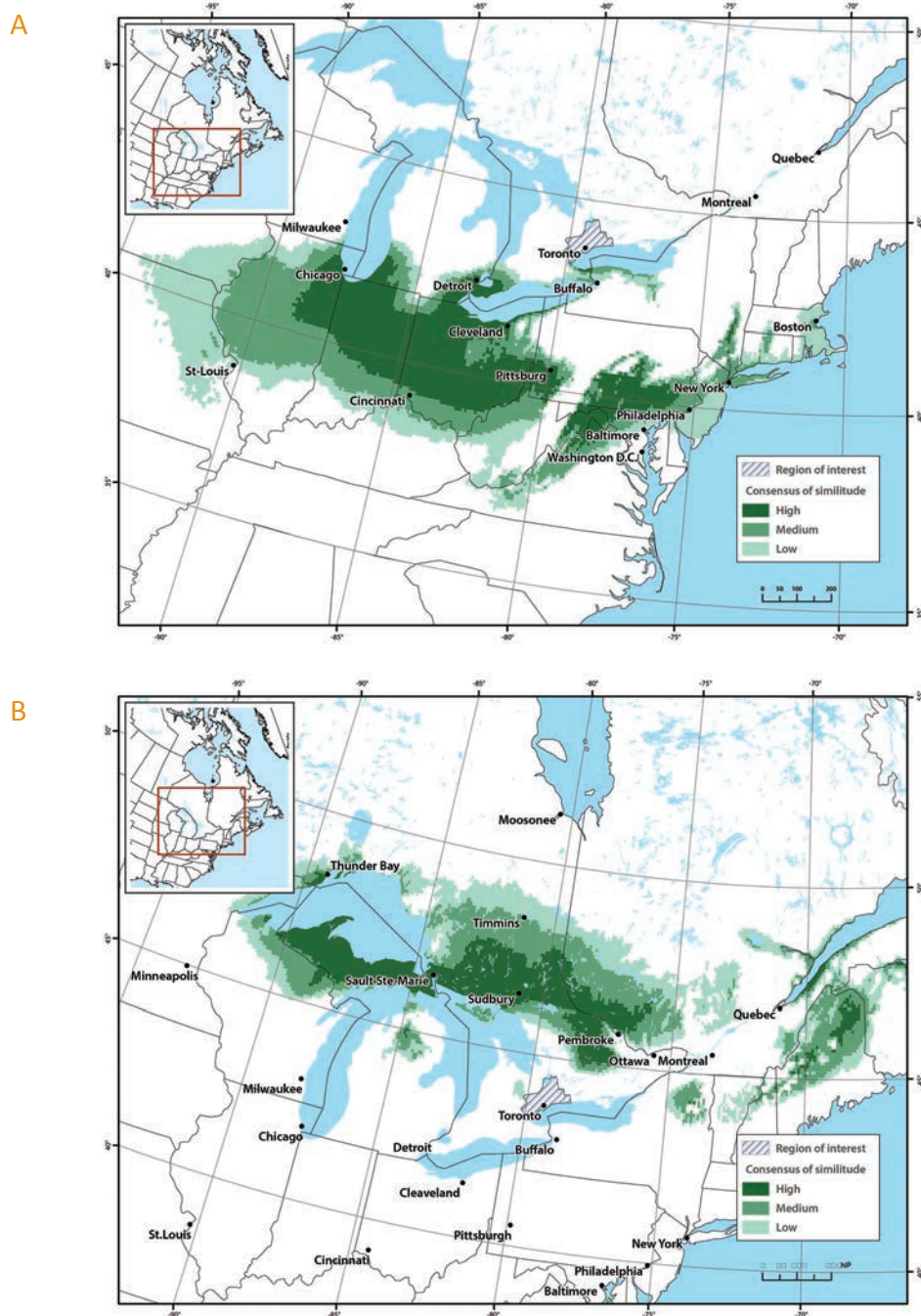


Figure 21 | Analogue spatial de la région du Grand Toronto pour l’horizon 2080 (2071-2100). **A.** Les régions où le climat récent (1971-2000) est similaire au climat projeté pour la région du Grand Toronto en 2080 (2071-2100). **B.** Les régions où le climat projeté (2071-2100) est similaire à celui 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 et comment l'interpréter?**

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

L'illustration du haut 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 GTA connaîtra en 2080 est relativement vaste et comprend des villes comme Detroit, Cleveland, Chicago, Pittsburgh, New York et Philadelphie.

Quant à l'emplacement en 2080 des distributions de température et de précipitations actuelles du GTA (illustration du bas), 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 Sainte-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 aux changements climatiques.

🔑 **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'étude¹⁹. 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 régions⁴⁷. La comparaison est basée sur la similitude entre les distributions de variables climatiques entre la **période de référence et l'horizon futur** (1971-2000 et 2071-2100 dans ce cas). Le niveau de similitude peut être calculé au moyen de différentes métriques (p. ex.⁴⁸⁻⁵¹).

En théorie, cette méthode de communication de données climatiques permet d'envisager n'importe quel nombre de variables. Par exemple, il est possible de 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 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. Pour simplifier l'interprétation, les valeurs des distances médianes de 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 de 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.



Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?

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 exemple, dans ce cas, New York montre un niveau élevé de similitude avec Toronto. Cependant, New York, étant une ville beaucoup plus côtière par rapport à Toronto, connaîtra des événements climatiques qui sont très différents. Par conséquent, le choix des variables climatiques aura une incidence sur 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 végétation⁵², 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.

2. DIAGRAMME DE DISPERSION

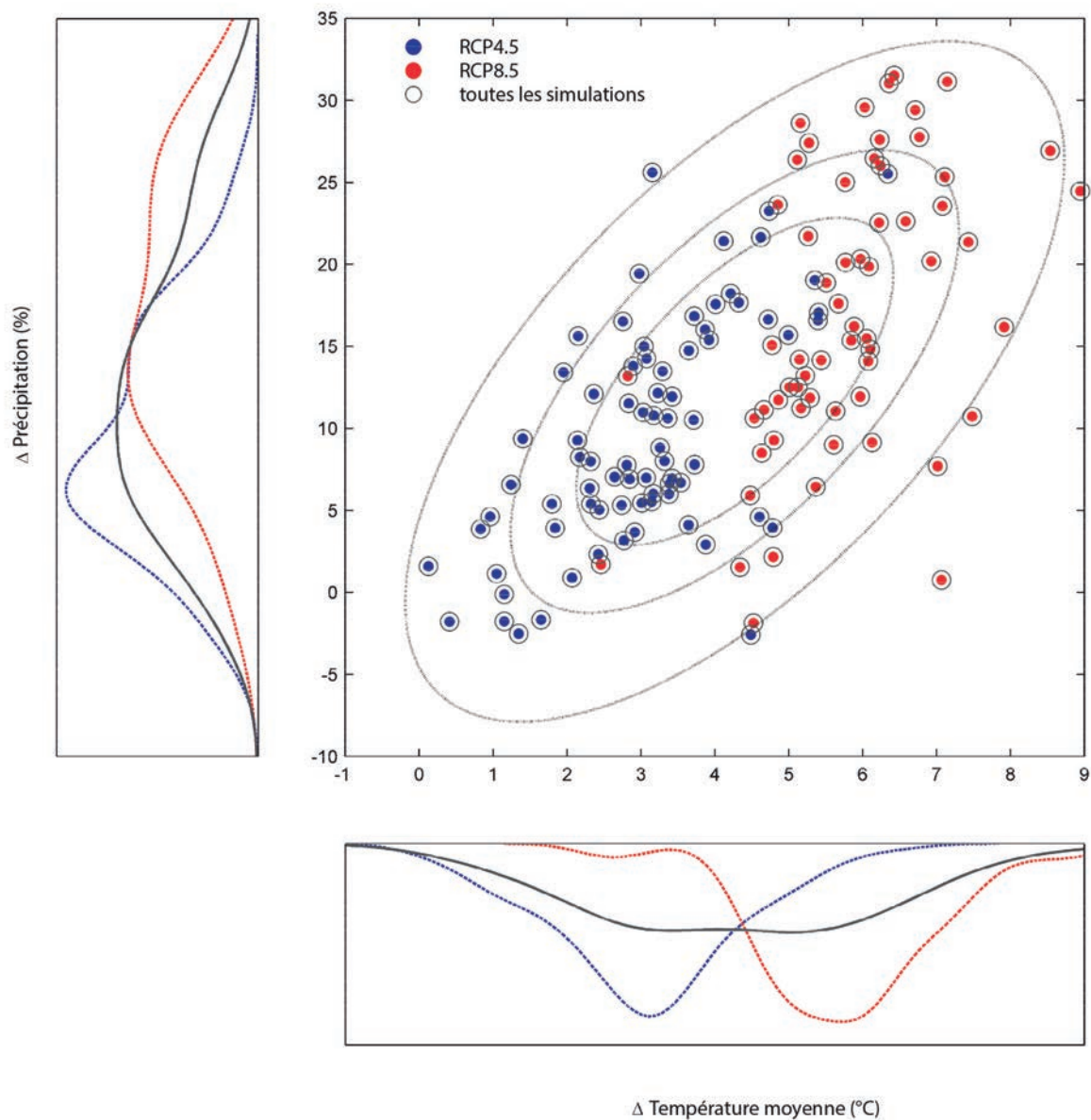



Figure 22 | Changements projetés de la température annuelle moyenne (°C) et des précipitations totales (mm) pour les provinces du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse durant les mois d’hiver (DJF : décembre, janvier et février) pour l’horizon 2080 (2071-2100) en comparaison avec la période de référence 1971-2000. Les changements sont illustrés pour un ensemble de simulations climatiques globales selon le RCP4.5 (n = 100, points bleus) et le 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 et comment l'interpréter?**

La figure présente les changements projetés des précipitations d'hiver (DJF) et des températures d'hiver (DJF) pour l'**horizon** 2080 (2071-2100) par différentes **simulations globales** avec les **RCP4.5** et 8.5 pour le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse, en comparaison avec la **période de référence** 1971-2000.

L'illustration principale montre une séparation nette dans les changements projetés entre les **deux familles RCP**. Les **modèles climatiques** exécutés avec le RCP8.5 montrent des changements plus marqués de températures et de précipitations. Lorsque toutes les simulations sont considérées, la plage de deltas de températures pour 2080 varie de 0 à 9 °C, alors que les changements de précipitations varient de -3 à 30 %.

Les distributions des deux variables, à gauche et au bas de la figure, montrent un pic dans le nombre de simulations qui suggèrent une augmentation des températures d'environ 3 °C pour le RCP4.5 et de 6 °C pour le RCP8.5. Quant aux changements dans les précipitations, les distributions atteignent un sommet d'environ 5 % pour le RCP4.5 et d'environ 15 % pour le RCP8.5. 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.

 **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 des deux variables climatiques à l'étude pourraient être utilisées, simulées par des modèles climatiques différents 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 températures 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, on trouve également les courbes de distributions 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.

 **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

Bien que cette figure souligne clairement qu'il peut y avoir une grande 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 relativement 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 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 le sujet d'intérêt est une autre échelle temporelle (p. ex. saisonnière).

3. CARTES DE VALEURS FUTURES

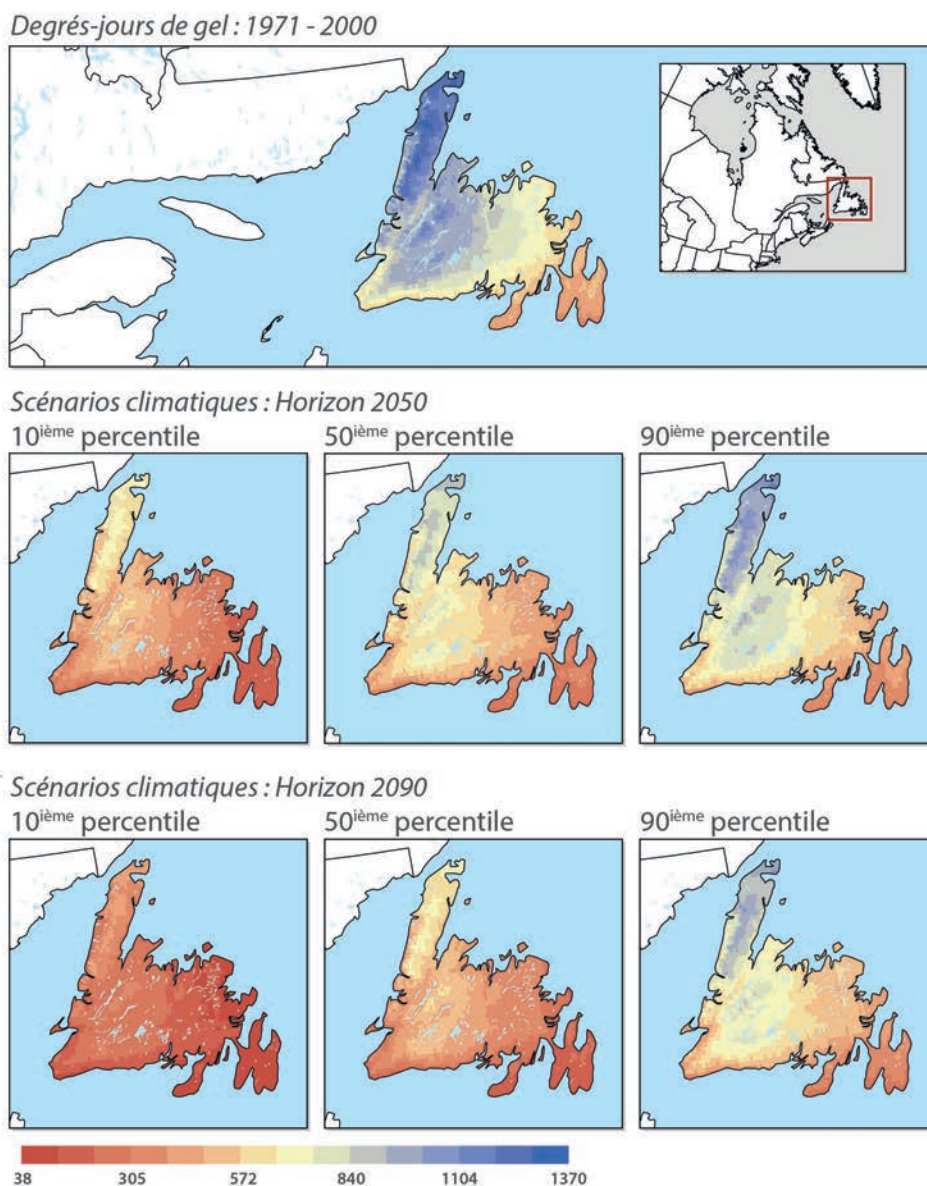



Figure 23 | Normales climatiques du nombre de degrés-jours de gel pour la période 1971-2000 de même que les valeurs projetées pour cet indice sur les horizons 2050 (2046-2065) et 2090 (2081-2100), calculées à partir d'un ensemble de 79 simulations (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional). Pour les projections, les colonnes du centre représentent la médiane, alors que celles de gauche et de droite représentent le 10^e et le 90^e percentile de l'ensemble, respectivement.
Source: T. Logan, Ouranos

 **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

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) sur une grille de 10 km par 10 km. 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.

D'abord, le panneau du haut démontre que 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 et 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.

Les cartes des valeurs futures présentent 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.

Ici, les cartes expriment des valeurs absolues futures de nombres de jours-degrés de gel et non un delta ou un changement entre deux périodes.

 **Comment la figure est-elle construite?**

L'illustration du haut présente les normales climatiques pour la période 1971-2000 (section 1.2).

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 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. Les 10^e, 50^e et 90^e percentiles représentent la plage des valeurs des 79 simulations utilisées (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional).

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 qui requiert par contre un **post-traitement** supplémentaire des données. Les **scénarios climatiques** ont été obtenus au moyen de 79 simulations, pour lesquelles une **méthode de correction de biais** a été utilisée afin d'obtenir des valeurs sur une grille de 10 km.

 **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

Le fait que les cartes du 10^e percentile montrent les plus grands changements, comparés à celles 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, par exemple. On sait intuitivement que si les températures augmentent, il y aura un gradient dans les températures projetées, telles que 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.

4. ÉVOLUTION DES VALEURS FUTURES

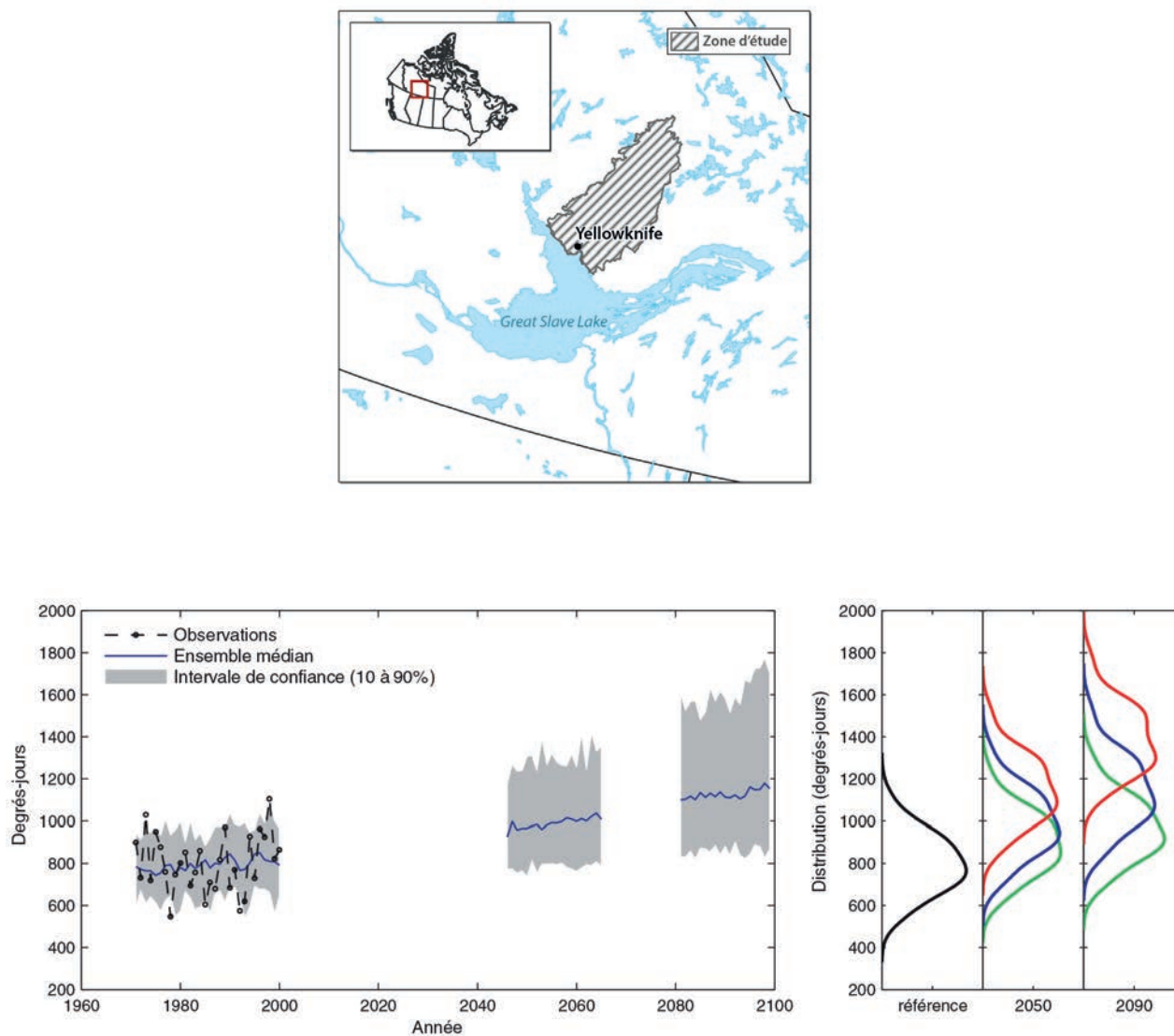


Figure 24 | **Gauche** : Évolution du nombre annuel moyen de degrés-jours de croissance pour les années 1971-2100 pour la région du Grand lac des Esclaves. Les valeurs sont calculées au moyen d'un ensemble de 79 simulations (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional), alors que les observations proviennent d'un ensemble de données de RNCan^{44,45}. **Droite** : Les valeurs de distribution de la moyenne régionale des valeurs observées (courbe en noir) et des valeurs projetées sont montrées au moyen du 10^e, du 50^e et du 90^e percentile de l'ensemble des scénarios climatiques (courbes en vert, bleu et rouge, respectivement).

Source: T. Logan, Ouranos

? **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

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.

L'illustration de gauche montre une augmentation projetée du nombre de degrés-jours de croissance entre 1971 et 2100. **L'ensemble des simulations** (enveloppe grise) couvre approximativement la même plage de valeurs que la **variabilité naturelle** (points noirs). L'illustration de droite montre un déplacement vers le haut dans les distributions des simulations pour 2050 et 2090, particulièrement pour les distributions médiane 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.

🔗 **Comment la figure est-elle construite?**

La figure présente l'évolution ou les valeurs **projetées** d'une variable climatique particulière pour une région donnée. Ainsi, elle 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 CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional¹⁷) ont été utilisées pour construire cette figure.

L'illustration de gauche présente le nombre moyen de degrés-jours de croissance pour tous les points de la grille de la région à l'étude délimitée par 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 de l'**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 de 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 simulations en fonction de différents critères. D'abord, ils sont choisis en fonction de la moyenne des deltas pour tous les scénarios pour les deux horizons. Ensuite, le choix final est celui qui représente le mieux (1) la médiane (courbe bleue), (2) le 10^e percentile (courbe verte) et (3) le 90^e percentile (courbe rouge), pour le changement projeté moyen. 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 visuelle de scénarios futurs avec la distribution observée.

⚠️ **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

L'illustration de gauche présente la particularité qu'avec une augmentation projetée des degrés-jours de croissance, il y a aussi un élargissement de l'enveloppe grise (**incertitude**) dans le futur. L'enveloppe grise contient toutes les sources d'incertitude, pas seulement la variabilité interannuelle. Par exemple, l'élargissement de l'enveloppe peut 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 augmentation de la variabilité entre les années individuelles (variabilité interannuelle). Cependant, la largeur de l'enveloppe grise pour les horizons futurs est en fait le résultat de multiples sources d'incertitudes, non seulement la variabilité interannuelle pendant la période de référence, mais aussi l'incertitude entre les différentes **familles SRES** et celles issues de la sensibilité du modèle climatique (c.-à-d. la réponse des différents modèles climatiques à une augmentation de concentrations de GES).

L'illustration de droite permet de mieux déterminer s'il y a une augmentation de la variabilité interannuelle. Une comparaison entre les distributions futures colorées et la distribution observée permet de faire ressortir la forme de la distribution qui change très peu 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. 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 scénarios d'émissions et non à une variabilité interannuelle plus élevée.

5. FONCTION DE DISTRIBUTION CUMULATIVE

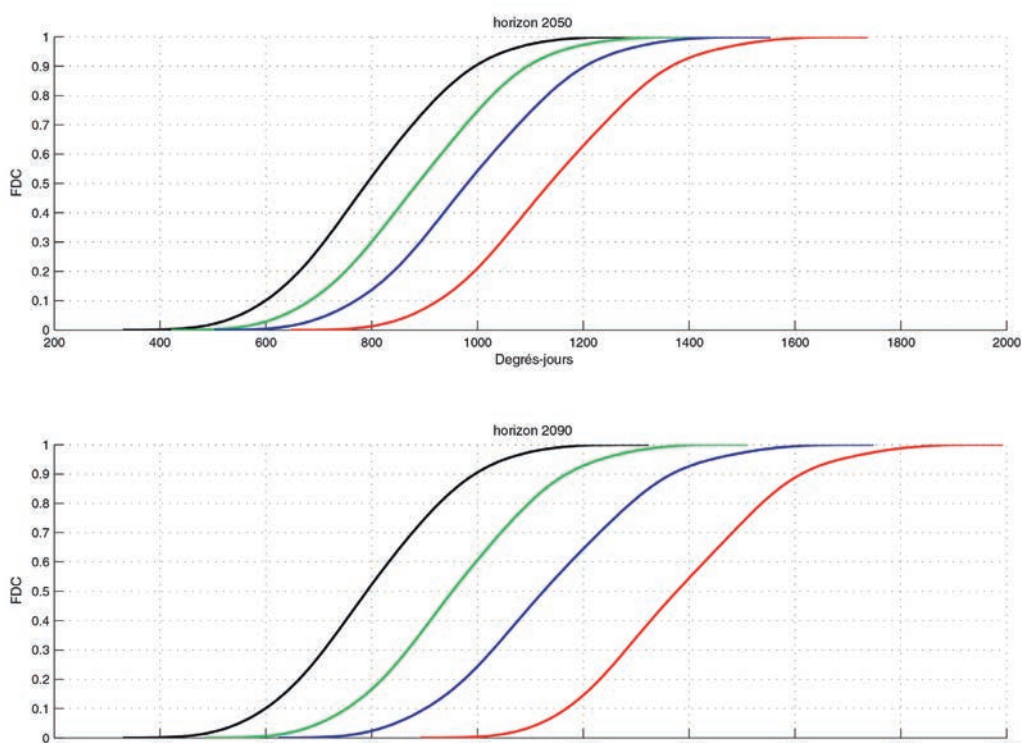


Figure 25 | Fonction de distribution cumulative (FDC) du nombre annuel moyen de degrés-jours de croissance pour la période de référence (1971-2000) et les deux horizons futurs (2050 et 2090) pour la région du Grand lac des Esclaves. Les valeurs sont calculées au moyen d'un ensemble de 79 simulations (75 de l'ensemble CMIP3 et 4 du modèle CRCM 4.2.3 régional), alors que les observations proviennent d'un ensemble de données de RNCan^{44,45}. 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) y sont illustrées.
Source: T. Logan, Ouranos

 **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

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.

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 cette figure, 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 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.

 **Comment la figure est-elle construite?**

La figure présente la même information que les courbes de distribution de la figure d'évolution précédente (p. 50), 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).

 **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

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 peut être accordés à une courbe plutôt qu'une autre.

Enfin, il peut être assez difficile de visualiser ce que l'information illustrée 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 d'évolution (figure 24), sur laquelle les changements moyens dans toute la région à l'étude sont plus évidents.



CATEGORIE DÉTAILLÉE

De manière semblable 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 aussi les changements dans les événements extrêmes et pour des indices climatiques pour lesquels la confiance dans les projections de modèles est plus faible.

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

Quatre exemples sont présentés pour illustrer le type d'information disponible dans cette catégorie. Du format le plus simple au plus complexe :

- › **Séries temporelles** – utilisées pour fournir des données climatiques (p. ex. sorties de modèles climatiques) qui sont ensuite utilisées dans un modèle d'impacts.
 - Hydrologie
- › **Courbes d'intensité-durée-fréquence** – utilisées pour présenter les extrêmes de précipitations.
- › **Analyses d'événements et d'indices climatiques de confiance limitée**
 - Scénarios de modèles climatiques
 - Scénarios synthétiques

1. SÉRIES TEMPORELLES

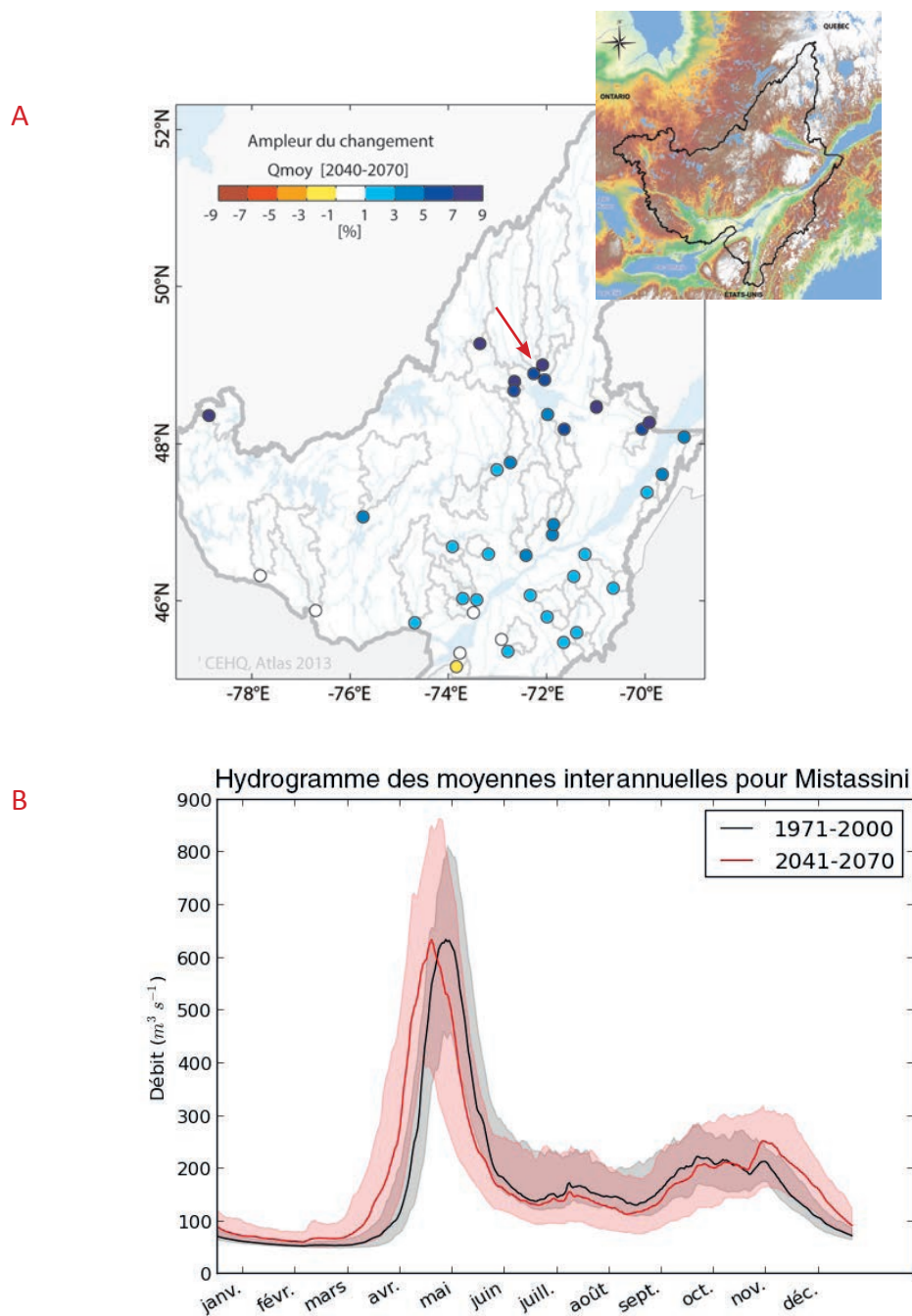


Figure 26 | A. Changement projeté dans le débit annuel moyen (Qmoy) pour la période 2041-2070 comparée à la période de référence 1971-2000, au moyen d'un ensemble de 89 simulations de l'ensemble CMIP3 et B. hydrogramme annuel moyen pour la période de référence et la période future pour l'un des sous-bassins hydrographiques.
Source: A. Centre d'expertise hydrique du Québec (2013)⁵³ and B. Gauvin- St-Denis, Ouranos

? **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

La figure montre les changements **projetés** dans les valeurs de débits annuels moyens pour l'**horizon temporel** 2050, pour un petit bassin hydrographique au Québec (A), de même qu'un hydrogramme annuel moyen (B) pour un sous-bassin hydrographique (flèche rouge, en A). L'illustration en A 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 (en B) pour l'un des sous-bassins, montre des changements dans la périodicité du débit. 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.

 **Comment les figures sont-elles construites?**

Dans cet exemple, les sorties des simulations climatiques ont été importées dans un modèle d'impacts, soit un modèle hydrologique afin d'évaluer les changements futurs des débits de la région d'étude.

Les données de sortie de modèle climatique fournies pour produire la 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 pour calculer les valeurs quotidiennes de débit des deux périodes, ainsi que les changements entre ces deux périodes. Cette analyse a utilisé un total de 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 du haut. Les 445 scénarios climatiques sont aussi utilisés pour produire l'hydrogramme annuel moyen dans l'illustration du bas. 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 10e et 90e percentiles pour chaque période.

 **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles 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. Par exemple, si 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 (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, il y aurait 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 MCR) et que les données sont fournies pour tout le Canada, cela représente environ 5500 polygones de grille, chacune comportant 438 000 valeurs de température. Comme 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.

En outre, il est important de se rappeler que l'information fournie est souvent très spécifique et il peut être difficile d'extrapoler les résultats à d'autres régions. Cela est vrai pour cet exemple, où les données climatiques utilisées comme intrants et/ou la paramétrisation du modèle d'impacts se font que pour certaines conditions. Compte tenu de la spécificité de l'information utilisée pour une région, il faut être prudent lorsque l'on extrapole les changements projetés à d'autres régions.

De plus, pour cet exemple en hydrologie, l'information fournie dans le changement en pourcentage de débit peut être incomplète ou insuffisamment 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 illustrent souvent des tendances opposées; mais cela n'est pas représenté dans la figure. Étant donné que nos connaissances actuelles ne nous permettent pas de rejeter aucun des scénarios, cette incertitude devrait être prise en compte. Le fait que les changements sont exprimés en pourcentage doit aussi être considéré avec prudence, car certains scénarios peuvent démontrer de très grands changements, lorsque comparés à des valeurs de débit de référence très faibles (de grands changements relatifs, mais de petits changements absolus).

2. COURBES INTENSITÉ-DURÉE-FRÉQUENCE

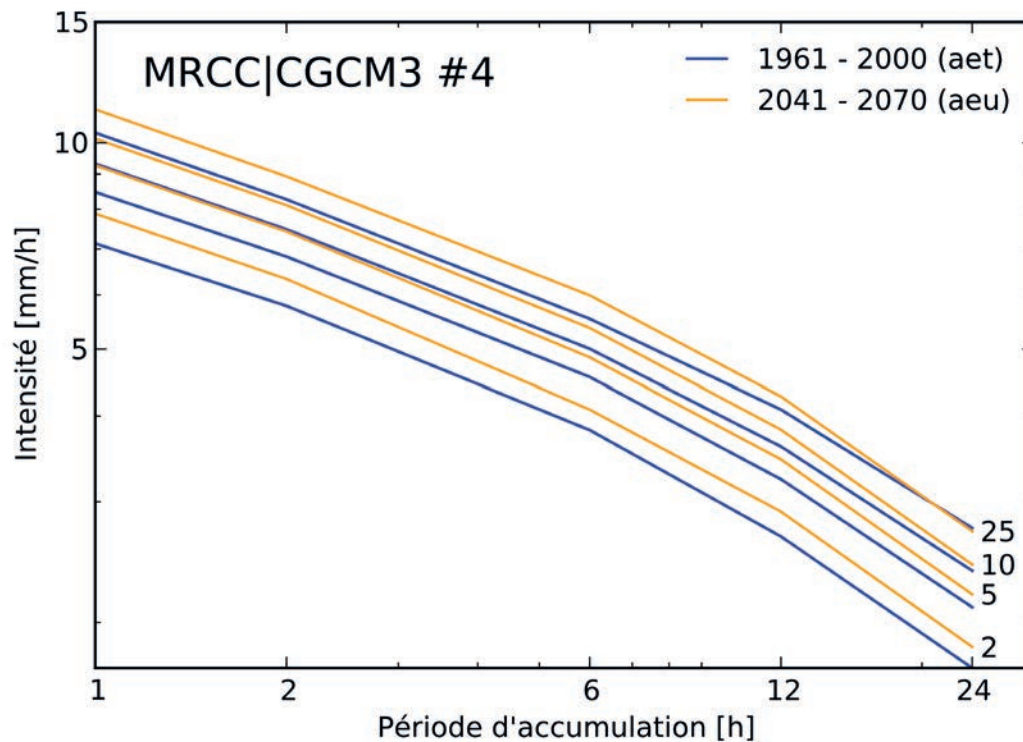




Figure 27 | Courbes d'intensité/durée/fréquence pour la vallée du Saint-Laurent simulées pour le climat actuel (aet) et futur (aeu) par le MRCC au moyen d'un modèle climatique global MCG3#4. Les lignes indiquent l'intensité des précipitations selon quatre périodes de retour (2, 5, 10 et 25 ans).
Source: David Huard (Ouranos)

 **Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?**

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, pour des périodes de retour de 2, 5, 10 et 25 ans, à partir d'une **simulation** du Modèle régional canadien du climat (MRCC 4.2.3 piloté avec le modèle global MCGG3#4).

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 soit le nombre de fois que les précipitations surviennent, indiquées par les lignes colorées. La hauteur des précipitations (accumulation sur l'axe des x) est calculée pour cinq durées : 1, 2, 6, 12 et 24 heures. La simulation projette une légère hausse de la quantité de pluie accumulée pour les quatre périodes de retour, particulièrement pour les précipitations de 6 et de 12 heures. Pour les événements avec un retour de 10 et 25 ans, les accumulations sur 24 heures sont très similaires entre deux horizons, 1961-2000 et 2041-2070.

 **Comment la figure est-elle construite?**

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

 **Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?**

Il est important de mentionner qu'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 seule simulation.

3. 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 7) 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 empêcher le 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). Finalement, l'information pour certains indices et événements peut exister, mais à une résolution qui ne correspond pas aux besoins des utilisateurs (p. ex. pression atmosphérique).

Tableau 7 | Exemples d'indices ou d'événements climatiques avec une confiance limitée.

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

La collaboration entre l'utilisateur et le fournisseur de services climatiques sera de la plus haute importance pour ces variables. 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.

Deux méthodes sont présentées ici pour évaluer les changements futurs de ces variables :

- › La première consiste à utiliser des **simulations de modèles climatiques**, comme ce qui est présenté par les formats du guide, mais avec une compréhension claire que les incertitudes relatives à ces variables sont importantes. Néanmoins, la disponibilité des observations pour les variables climatiques identifiées dans le tableau 7 augmente, tout comme la compréhension des processus qui les génèrent. Par conséquent, il est probable que la confiance dans les projections des modèles climatiques pour ces variables moins connues augmente dans un futur proche.
- › La seconde 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. Très simplement, ils sont créés en réglant les variables climatiques de manière incrémentale par des quantités arbitraires dans le futur. La manière dont elles sont réglées doit être cohérente avec les sorties de MCG ou les données climatiques historiques³. Les scénarios peuvent être construits pour des variables climatiques possédant un haut degré de confiance (p. ex. la température), mais où les ressources pour exécuter les modèles climatiques sont limitées. Dans de tels cas, les scénarios permettront une première évaluation rapide de la sensibilité potentielle d'un système. Ils sont particulièrement utiles pour les cas où l'indice climatique d'intérêt n'est pas bien compris à ce moment ou n'est pas bien représenté par les modèles climatiques. Les chercheurs développent alors des futurs hypothétiques fondés sur les meilleures informations disponibles.

4. SCÉNARIOS SYNTHÉTIQUES

Tableau 8 | Liste de neuf scénarios synthétiques développés pour simuler les débits de la Rivière-des-Prairies, sur la rive nord de Montréal. Q2 et Q100 représentent les débits annuels selon une période de retour de 2 et 100 ans, respectivement.

Source: *Adopté de Thomas et al. 2012*⁵⁴

SCENARIO	CHANGEMENT DE DÉBIT PROJÉTÉ
1	Q2 ans
2	Q2 ans +234 m ³ /s
3	Q2 ans +468 m ³ /s
4	Q2 ans +702 m ³ /s
5	Q100 ans + 468 m ³ /s
6	Q100 ans
7	Q100 ans + 1000 m ³ /s
8	Q100 ans + 1500 m ³ /s
9	Q100 ans + 2000 m ³ /s

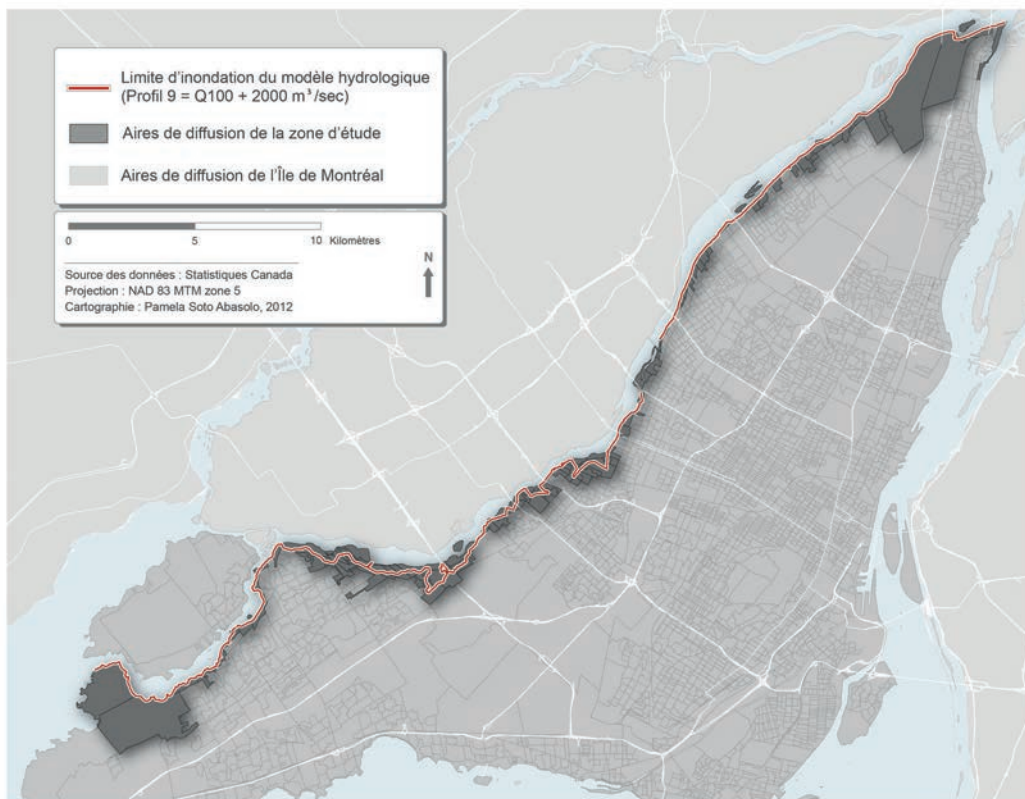


Figure 28 | Limite de la zone inondée simulée avec le scénario synthétique numéro 9, présenté au tableau 8 (QT100+ 2000m³/s).

Source: *Thomas et al. 2012*⁵⁴

? Quelle information climatique est présentée dans la figure et comment l'interpréter?

Le tableau 8 présente neuf scénarios synthétiques qui ont été dérivés pour simuler l'augmentation du débit de la rivière le long de la côte nord de l'île de Montréal. La figure présente une carte de la zone maximale (en rose) qui serait touchée par une inondation de l'ampleur simulée par l'un des scénarios présentés dans le tableau 8, à savoir un débit équivalent à $Q_{100} + 2000\text{m}^3/\text{s}$.

🔗 Comment la figure est-elle construite?

Neuf scénarios synthétiques de valeurs de débit futur ont été utilisés pour simuler une série d'événements d'inondation (tableau 8). Les débits utilisés étaient basés sur la modélisation hydrologique des valeurs de débit mesurées 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 : Q_2 (débit maximal avec une période de retour de 2 ans), Q_{100} (débit avec un retour de 100 ans), $Q_{100} + 2000\text{m}^3/\text{s}$. Une fois que les scénarios ont été élaborés, ils ont été utilisés pour projeter les niveaux d'eau sur une carte numérique d'élévation de la zone d'intérêt. L'objectif était de modéliser différents scénarios de débordement afin d'identifier les zones les plus susceptibles d'être submergées (zones inondables potentielles). Ces scénarios ont permis le développement d'une carte des zones d'inondation potentielle et, finalement, permis une première évaluation de la sensibilité des populations à des augmentations futures du débit.

⚠️ Quelles sont les limites / mises en garde / erreurs d'interprétation potentielles de l'information?

Les scénarios synthétiques peuvent être une approche utile dans l'évaluation de différents futurs possibles aux fins d'études d'impacts et d'adaptation. Certains des principaux avantages de ce type de scénarios sont : qu'ils peuvent aider à identifier les sensibilités dans le système, qu'ils sont rapidement et facilement construits (c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent pas de grandes ressources de calcul), et qu'ils sont généralement faciles à utiliser et à comprendre. Dans le cas présenté ici, la cartographie des zones inondables futures devait être modélisée et l'étendue de ces zones est évidemment très dépendante du débit de la rivière. Par contre, cette rivière est réglementée et ainsi le débit est une variable complexe à simuler. Cette complexité est accentuée par le changement climatique. En effet, alors que les précipitations peuvent expliquer une grande partie de la variabilité du débit, d'autres facteurs qui peuvent difficilement être modélisés vont aussi jouer un rôle, comme l'utilisation et la perte d'eau en amont de la région d'intérêt et d'autres décisions de gestion concernant les règlements d'écoulement. La décision d'utiliser des scénarios synthétiques aura donc permis une première évaluation des vulnérabilités potentielles des populations le long de cette rivière.

Cependant, un inconvénient important est que les scénarios synthétiques peuvent ne pas être physiquement plausibles et peuvent ne pas représenter les propriétés physiques du système climatique. Par exemple, certaines des valeurs de débit futur utilisé pourraient être plus grandes par rapport à ce qui peut réellement se produire. Les scénarios synthétiques doivent donc être construits avec soin avec l'aide d'experts et leurs hypothèses sous-jacentes doivent être clairement définies.





CHAPITRE QUATRE

PRISE DE DÉCISION AU MOYEN DE
L'INFORMATION CLIMATIQUE ET SON
INCERTITUDE

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 en découlent comprennent :

1. Les décideurs sont fréquemment aux prises avec de nombreuses et différentes sources d'incertitude par rapport au futur, en plus du fait que le climat ou la météo 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 pour des infrastructures importantes ou la protection d'une zone contre le développement. Les leçons apprises quant à ces autres incertitudes peuvent aider au processus de prise de décision dans un contexte de changements climatiques.

2. L'information climatique ne doit jamais être la seule base sur laquelle les décisions sont prises, mais doit plutôt être 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 aussi 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. Le meilleur scénario climatique n'existe pas. L'éventail de résultats obtenus à travers un grand nombre de simulations climatiques doit être utilisé pour la prise de décision. Cette plage 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 des changements climatiques attendus.

La planification de solutions alternatives 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 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 une approche itérative de la gestion du risque. Les décisions doivent être réévaluées et modifiées au fur et à mesure que de nouvelles connaissances sur les variables climatiques ou non climatiques sont disponibles. La surveillance et l'apprentissage doivent être une composante importante du processus.





CHAPITRE CINQ

ÉTUDES DE CAS DE L'UTILISATION
DE L'INFORMATION CLIMATIQUE EN
ADAPTATION

INFORMATION 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 pour chaque région à l'aide des observations historiques et du changement climatique à l'échelle de la province. Chaque sommaire débute avec une vue d'ensemble générale des changements climatiques en Colombie-Britannique 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 sommaires et de figures d'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 a été utilisée par le gouvernement de la Colombie-Britannique pour illustrer un portrait du climat aux décideurs et aux planificateurs de la province. En donnant une vue d'ensemble de l'évolution du climat au cours des 100 dernières années et des changements projetés pour les 50 prochaines années, l'information est utilisée pour amorcer un dialogue sur les effets déjà ressentis par différents intervenants du secteur et 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 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 de l'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 aussi : Richardson and Otero (2012)⁵⁵

INFORMATION 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 analogues⁵⁶. 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 ennemis principaux 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 régions⁵⁷. 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 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 semblable 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 sucré⁴⁴.

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), ce qui illustre à quel point l'analogie est un outil intéressant pour communiquer les défis liés aux changements climatiques.

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

Titre du projet : Plan d'adaptation aux changements climatiques : 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'hydroclimatologie 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 aux changements climatiques⁵⁸.

La municipalité a reçu de l'information sur les normales et tendances historiques, ainsi que sur les projections 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, l'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 informé la municipalité que d'importants changements de la température et des précipitations étaient à prévoir, entraînant probablement de grands impacts sur plusieurs facteurs, tels que le risque d'inondation, les feux de forêt, l'approvisionnement en eau et les infrastructures de transports, etc.

Cette information a été présentée à Prince George lors de deux ateliers, ce qui a permis aux acteurs concernés de visualiser l'information, de la comprendre, mais, surtout, de pouvoir adresser des questions directement aux chercheurs climatiques qui avaient produit l'information. 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 et des mesures d'actions potentielles sont identifiées. 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 : Un exemplaire du rapport se trouve à l'adresse : <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

INFORMATION DÉTAILLÉE

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

Région : Nunavik

Résumé et application : 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 Nunavik⁶⁰. 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. Des sorties de MRC et MCG ont été utilisées pour simuler les caractéristiques des tempêtes, comme le nombre d'événements, leur vitesse et leur trajectoire. L'hypothèse suggère que les changements projetés dans ces systèmes de grande taille, à savoir la périodicité des tempêtes, aient des répercussions importantes sur les milieux côtiers.

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 de résultats qui sont utiles pour les décideurs, malgré certaines limites évidentes comme le nombre restreint de simulations climatiques et l'incertitude accrue associée. En effet, les schémas généraux dans les changements étaient cohérents parmi toutes les simulations. Cela est en soi une information importante pour les décideurs. Quant aux incertitudes dans les simulations fournies, cette information peut être combinée avec d'autres renseignements. Par exemple l'évaluation de la vulnérabilité des populations ou des infrastructures, dans lesquelles 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

Résumé et application : 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 des changements climatiques 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 sept 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 la Direction de l'expertise hydrique du Québec, alors que les prévisions et les indices de faible débit sont basés sur des données de

débit observé. Les répercussions des changements climatiques sur les débits futurs ont été évaluées en utilisant les sorties de modèles climatiques régionaux dans le modèle hydrologique Hydrotel, un modèle d'impacts. Les résultats suggèrent 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 conserver la ressource. Les résultats de l'évaluation des changements climatiques 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.





GLOSSAIRE

Adaptation : Initiatives et mesures pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques présents ou attendus.

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 du climat et aux changements climatiques.

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 : 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 : 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 : 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 aux changements climatiques y compris la variabilité et les extrêmes du climat.

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

Consensus : Désigne l'accord entre les modèles, soit la proportion des éléments d'un ensemble de simulations qui « s'entendent » sur le signe (positif ou négatif) du changement projeté.

Delta : Changement relatif d'une variable climatique entre la période future et la période de base ou de référence, tel que simulé par un modèle climatique. Paramètre de mesure sur laquelle les scénarios climatiques sont basés.

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), régionale (comme une province) continentale ou globale. Les échelles temporelles peuvent être mensuelles, saisonnières, géologiques, etc.

Ensemble : Désigne l'ensemble complet de simulations climatiques ou scénarios climatiques qui est 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 pilotées avec des conditions initiales différentes pour la simulation.

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 CO_2 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 (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde nitreux (N₂O), le méthane (CH₄) et l'ozone (O₃).

Génération : Désigne les ensembles de modèles climatiques globaux issus du projet *Coupled Model Intercomparison Project* 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. 1° x 1° ou de 10 km sur 10 km).

Horizon : Une période future à l'étude où les sorties de simulations climatiques sont examinées ou pour laquelle les scénarios futurs sont produits. La communauté de climatologie tend à converger vers des 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 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 : Désigne 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 modèles climatiques 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.

Mitigation : Une substitution ou un 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 climatiques : La moyenne des conditions météorologiques, telle que calculée à partir d'observations sur un intervalle de temps historique de 30 ans, qui définit 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 pour tous les scénarios futurs plausibles.

Organisation frontière : Organisations qui facilitent l'échange de connaissances entre les domaines scientifiques et l'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 : La partie future des simulations de modèles climatiques. Elle est basée sur des hypothèses portant notamment sur les développements socioéconomiques et technologiques futurs qui peuvent ou non se produire. La projection climatique est donc soumise à l'incertitude.

Réanalyse : Estimation des températures océaniques et atmosphériques historiques, des vents, des courants et d'autres quantités météorologiques et océanographiques, produites 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. Elle permet l'analyse de nombreuses variables climatiques et est également utilisée 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 calculer 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 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 matériaux bruts pour construire des scénarios climatiques, mais ces derniers exigent souvent de l'information additionnelle, comme le climat actuel observé.

Scénario d'émissions : 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'acronyme 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 : 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 : Décrit 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. (Voir « SRES »)

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 est intrinsèque au climat. Elle est caractérisée par la surveillance des observations et peut être étudiée par les conditions initiales d'un ensemble.

Vulnérabilité : 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 la capacité d'adaptation de ce système.

Références pour le 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. Olson, 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.

Nakićenovič, 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

D'OÙ TROUVER L'INFORMATION
CLIMATIQUE

Noter 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 (NARCCAP)

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. (Environment Canada and University of British Columbia, 2008).
5. Pearce, C. Pathways to climate resilience : A guidebook for forest-based communities. (2008).
6. OCCIAR. A Practitioner 's Guide to Climate Change Adaptation in Ontario's Ecosystems. (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. (2014).
10. Smit, B. & Wandel, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 16, 282–292 (2006).
11. Willows, R. I. & Connel, R. K. (Eds. . Climate adaptation : Risk, uncertainty and decision-making. (2003).
12. Parson, E. A. Useful global-change scenarios: current issues and challenges. *Environ. Res. Lett.* 3, 5pp (2008).
13. Lemos, M. C. & Rood, R. B. Climate projections and their impact on policy and practice. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 1, 670–682 (2010).
14. Lemos, M. C. & Morehouse, B. J. The co-production of science and policy in integrated climate assessments. *Glob. Environ. Chang.* 15, 57–68 (2005).
15. 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).
16. 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).
17. Sutton, R. T. & Hodson, D. L. R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science* (80-.). 309, 115–8 (2005).
18. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007 : Synthesis Report. Change 446, (Cambridge University Press, 2007).
19. IPCC. CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis. (2013).
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Special Report on Emissions Scenarios. (Cambridge University Press, 2000).
21. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Assessment (2001). at <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/vol4/english/index.htm>
22. 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).
23. Knutti, R. & Sedláček, J. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nat. Clim. Chang.* 3, 369–373 (2012).
24. Knutti, R., Masson, D. & Gettelman, A. Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophys. Res. Lett.* 40, 1194–1199 (2013).

- 25.** Markovic, M., Elía, 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).
- 26.** 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).
- 27.** 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).
- 28.** 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).
- 29.** Gleckler, P. J., Taylor, K. E. & Doutriaux, C. Performance metrics for climate models. *J. Geophys. Res.* 113, D06104 (2008).
- 30.** Hawkins, E. & Sutton, R. The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 90, 1095–1107 (2009).
- 31.** Hawkins, E. Our evolving climate : communicating the effects of climate variability. *Weather* 66, 175–179 (2011).
- 32.** Hawkins, E. & Sutton, R. The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Clim. Dyn.* 37, 407–418 (2011).
- 33.** Smith, D. M. et al. Improved surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. *Science* (80). 317, 796–9 (2007).
- 34.** Cox, P. & Stephenson, D. Climate change. A changing climate for prediction. *Science* 317, 207–8 (2007).
- 35.** Knutti, R. et al. A Review of Uncertainties in Global Temperature Projections over the Twenty-First Century. *J. Clim.* 21, 2651–2663 (2008).
- 36.** Mote, P., Brekke, L. & Duffy, P. Guidelines for Constructing Climate Scenarios. (2007). doi:10.1007/s00703
- 37.** Murdock, T. Q. & Spittlehouse, D. L. Selecting and Using Climate Change Scenarios for British Columbia. *Environment* (2011).
- 38.** Casajus, N. et al. An Objective Approach to Select Climate Scenarios when Projecting Species Distribution under Climate Change. *PLoS One* 1–17 (2016). doi:10.5061/dryad.1sf74
- 39.** Mearns, L. O. et al. Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. (2003).
- 40.** 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).
- 41.** Mpelasoka, F. S. & Chiew, F. H. S. Influence of Rainfall Scenario Construction Methods on Runoff Projections. *J. Hydrometeorol.* 10, 1168–1183 (2009).
- 42.** Gennaretti, F., Sangelantoni, L. & Grenier, P. Toward daily climate scenarios for Canadian Arctic coastal zones with more realistic temperature-precipitation interdependence. *J. Geophys. Res. Atmos.* 11862–11877 (2015). doi:10.1002/2015JD023890. Received
- 43.** Lu, X. Guidance on the Development of Regional Climate scenarios for Vulnerability and Adaptation Assessments. (2006).
- 44.** 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).
- 45.** McKenney, D. W. et al. Customized Spatial Climate Models for North America. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 92, 1611–1622 (2011).
- 46.** 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).

- 47.** Ramirez-Villegas, J. et al. Climate Analogues : Finding tomorrow's agriculture today. (2011).
- 48.** 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).
- 49.** Veloz, S. et al. Identifying climatic analogs for Wisconsin under 21st-century climate-change scenarios. *Clim. Change* 112, 1037–1058 (2011).
- 50.** 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).
- 51.** 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).
- 52.** Ford, J. D. et al. Case study and analogue methodologies in climate change vulnerability research. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 1, 374–392 (2010).
- 53.** Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). Atlas hydroclimatique du Québec méridional. 51 (2013).
- 54.** 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).
- 55.** Richardson, G. R. A. & Otero, J. Land use planning tools for local adaptation to climate change. (2012).
- 56.** 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).
- 57.** Chakraborty, S. & Newton, A. C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathol.* 60, 2–14 (2011).
- 58.** Picketts, I. M., Werner, A. T. & Murdock, T. Q. Climate Change in Prince George - Summary of past trends and future projections. (2009).
- 59.** Picketts, I. M. et al. Planning for climate change adaptation: lessons learned from a community-based workshop. *Environ. Sci. Policy* 17, 82–93 (2012).
- 60.** Savard, J. et al. Étude du régime des tempêtes dans le Nunavik. (2013).



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