



GUIDE DE NORMALISATION POUR LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES, L'INFORMATION CLIMATIQUE ET LES PRÉVISIONS RELATIVES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Survol des pratiques, besoins et difficultés quant à la prise en compte des changements
climatiques dans la conception des infrastructures au Canada

Septembre 2017



CRÉDITS

Auteurs du rapport

Philippe Roy, Ouranos
Élyse Fournier, Ouranos
David Huard, Ouranos

Collaboratrices

Kelly Montgomery, Conseil canadien des normes
Nathalie Bleau, Ouranos
Isabelle Charron, Ouranos
Diane Chaumont, Ouranos
Anne Frigon, Ouranos
Caroline Larrivée, Ouranos

Réviseurs

Peter McKinnon
Annie Shalvardjian

Titre du projet : Guide de normalisation pour les données météorologiques, l'information climatique et les prévisions relatives aux changements climatiques

Numéro de projet : 400045-123

Date : Septembre 2017

Citation suggérée : Roy, P., É. Fournier et D. Huard. (2017). *Guide de normalisation pour les données météorologiques, l'information climatique et les prévisions relatives aux changements climatiques*, Montréal, Ouranos, 52 p. + annexes. DOI : xxxxx.

Les résultats et les opinions présentés dans la présente publication appartiennent strictement aux auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue d'Ouranos ou de ses membres. L'utilisation de ce document est aux risques de l'utilisateur, sans que la responsabilité civile ou juridique des auteurs soit engagée.

REMERCIEMENTS

Le présent rapport est le résultat de nombreux entretiens avec des experts de la collecte de données et du génie. Menés en janvier et février 2017, ces entretiens portaient sur les pratiques actuelles et les lacunes quant à la prise en compte des changements climatiques dans la conception des infrastructures.

Administration portuaire de Vancouver

Riley Beise

AME Group

Dale Boudreau

Environnement et Changement climatique Canada

Paul Brouillette

Solutions Mesonet

Alain Charron

Ville de Montréal

Quentin Chiotti

Metrolinx

Marie-Josée Doray

Hydro-Québec

Martin Élie

Environnement et Changement climatique Canada

Edmundo Fausto

Ontario Climate Consortium

Rick Fleetwood

Environnement et Changement climatique Canada

Nicolas Fournier

Met Office, Royaume-Uni

Blaise Gauvin St-Denis

Ouranos

Aytaç Göksu

Golder Associates

Philip Jarrett

Environnement et Changement climatique Canada

David Lapp

Ingénieurs Canada

Éric Larrivée

*Ministère du Développement durable, de l'Environnement
et de la Lutte contre les changements climatiques*

Vincent Leys

CBCL Limited

Dan McKenney

Ressources naturelles Canada

Lindon Miller

Gouvernement du Nouveau-Brunswick

Robert Morris

Trevor Murdock

Pacific Climate Impacts Consortium

Ryan Ness

Office de protection de la nature de Toronto et de la région

Peter Nimmrichter

Amec Foster Wheeler

Michael O'Rourke

Institut polytechnique Rensselaer

Xin Qiu

Université York

Novus Environmental Inc.

Jonas Roberts

Amec Foster Wheeler

Jean Rousseau

Bureau de normalisation du Québec

Slobodan Simonovic

Université Western

Eric Soulis

Université de Waterloo

Paul Steenhof

Association canadienne de normalisation (Groupe CSA)

Richard Turcotte

Centre d'expertise hydrique du Québec

Alexander Wilson

CBCL Limited

Lillian Zaremba

Metro Vancouver

SOMMAIRE

Le présent rapport a pour but de dresser un portrait de la collecte, de la gestion et de l'utilisation des données météorologiques et climatiques du Canada, des façons dont ces données sont utilisées pour produire des valeurs de calcul pour les infrastructures et de la prise en compte des prévisions climatiques dans la production des valeurs de calcul. Il traite aussi des lacunes et des options pour y remédier par les normes. L'objectif est d'amener les intervenants clés à adopter une vision commune des priorités relatives à la normalisation de la collecte et de l'utilisation des données météorologiques et climatiques durant la conception des infrastructures.

Les principaux constats quant au processus actuel de conception des infrastructures et aux lacunes sont les suivants :

- L'accès aux données météorologiques et climatiques est problématique.
 - La densité spatiale des réseaux météorologiques est faible, et donc souvent insuffisante pour les besoins des projets d'ingénierie.
 - Il est difficile d'accéder à des données haute fréquence sur les portails Web actuels.
 - Il n'est pas facile de trouver les données nécessaires (p. ex. données radar, données sur les variables comme le vent, les vagues, le débit des cours d'eau).
 - Les données sont éparpillées sur de nombreux portails, si bien que seuls les professionnels ayant de bonnes aptitudes techniques peuvent les trouver facilement.
 - La nature de l'information sur les changements climatiques actuellement accessible ne répond pas aux besoins des ingénieurs pour la conception et l'analyse des risques des projets d'infrastructures.
- Il existe plusieurs moyens de produire de l'information sur les changements climatiques. La multiplicité des méthodes et des conclusions est source d'incertitude et de confusion. Les personnes interrogées se sont dites préoccupées quant à la question de la responsabilité. Les enjeux de méthode et de responsabilité rendent nécessaire l'établissement d'une source d'information sur les changements climatiques faisant autorité à l'échelle nationale.
- Le degré d'incertitude des prévisions relatives aux changements climatiques est beaucoup plus élevé que celui avec lequel les ingénieurs devaient composer jusqu'ici. Le contexte des changements climatiques complique la prise de décisions, et les anciennes pratiques exemplaires de conception des infrastructures sont peu applicables.
- Le degré de confiance quant aux prévisions climatiques et à leurs produits est très variable chez les ingénieurs. Certains estiment que les modèles climatiques sont des « boîtes noires » et éprouvent de la méfiance à cause de l'incertitude inhérente aux simulations basées sur eux. Il serait utile de mettre à la disposition des ingénieurs un plus grand nombre de lignes directrices de formation officielle et de cours d'éducation permanente sur la climatologie.
- La science des changements climatiques continue d'évoluer rapidement, de même que les données disponibles et les méthodes d'analyse connexes. En pratique, ces développements signifient que les conclusions pourraient faire l'objet de révisions et ne peuvent être considérées comme faisant autorité avant d'être confirmées par des études indépendantes et l'épreuve du temps.
- Les avantages de l'adaptation aux changements climatiques peuvent sembler quelque peu abstraits. Il est tentant pour les organisations d'accorder la priorité aux investissements et aux projets donnant des résultats à court terme.

- Le manque de politiques sur les processus d’approvisionnement d’un projet pose aussi problème pour l’intégration des changements climatiques à la conception des infrastructures. Dans la plupart des cas, le choix de les incorporer ou non est laissé à l’ingénieur.
- La communication entre les scientifiques, les ingénieurs, les urbanistes et les intervenants est difficile : la signification d’un mot peut varier d’une discipline à l’autre, ce qui occasionne des malentendus et nuit à la collaboration. Les groupes se comprendraient mieux s’ils disposaient d’un glossaire interdisciplinaire officiel.

Les principales recommandations sont les suivantes :

- Créer un portail national pour cataloguer les données météorologiques, climatiques et issues de l’observation de la Terre, et produire du matériel destiné aux utilisateurs à partir de ces données. Ce portail mettrait à profit les initiatives prévues et réalisées, comme le réseau de réseaux (paragraphe 5.2.2a), le Centre canadien des services climatiques et la Plateforme géospatiale fédérale.
- Établir des lignes directrices et des pratiques exemplaires pour aider les ingénieurs à composer avec l’incertitude climatique.
- Établir des paramètres de conception en fonction des changements climatiques en s’inspirant de la norme [Climatic Data for Building Design Standards \(169-2013\)](#) de l’ASHRAE, aux États-Unis.

Le recours à un système de normalisation pour l’établissement d’un consensus sur ces facteurs critiques donnera aux parties concernées un point de départ et un socle de connaissances communs et inspirera des décisions éclairées sur les projets d’infrastructures.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	IV
SOMMAIRE	VI
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
GLOSSAIRE	XVI
SIGLES ET ACRONYMES.....	XX
1 INTRODUCTION	1
2 OBJECTIFS.....	3
2.1 PORTÉE.....	3
3 MÉTHODOLOGIE.....	6
4 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES	8
4.1 DONNÉES OBSERVÉES.....	8
4.1.1 Données mondiales.....	8
4.1.2 Données nationales.....	8
4.1.3 Données provinciales et territoriales	8
4.1.4 Données municipales et données des bassins hydrographiques.....	8
4.1.5 Données privées	9
4.2 MODÈLES CLIMATIQUES	10
4.2.1 Modèles mondiaux.....	10
4.2.2 Modèles régionaux.....	12
4.2.3 Simulations rétrospectives	13
4.2.4 Scénarios climatiques.....	13
4.2.5 Incertitude et variabilité.....	14
5 FOURNISSEURS DE DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES.....	15
5.1 COLLECTE ET EXPLOITATION DES DONNÉES.....	15
5.1.1 Principal objectif des activités actuelles de collecte de données et de déploiement d'instruments	15
5.1.2 Difficultés de gestion, d'entretien et d'exploitation.....	16
5.1.3 Contrôle de la qualité	16
5.2 DIFFUSION DES DONNÉES.....	20

5.2.1	<i>Portails de données</i>	20
5.2.2	<i>Coordination entre les fournisseurs de données météorologiques et climatiques</i>	21
5.3	PRESTATION DE SERVICES CLIMATIQUES	22
5.3.1	<i>Scénarios climatiques</i>	23
5.3.2	<i>Données climatiques secondaires</i>	24
5.3.3	<i>Modèles spatiaux</i>	25
5.3.4	<i>Charges nominales</i>	26
5.4	POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DES ENSEMBLES DE DONNÉES	26
5.4.1	<i>Disponibilité des variables météorologiques</i>	26
5.4.2	<i>Confiance quant aux variables et prévisions climatiques</i>	26
5.4.3	<i>Communication des données</i>	27
5.4.4	<i>Données de télédétection</i>	27
5.4.5	<i>Gestion de l'incertitude</i>	27
5.4.6	<i>Sélection d'un ensemble de simulations</i>	28
5.4.7	<i>Méthodes de réduction d'échelle et correction de biais</i>	28
6	POINTS DE VUE DES INGÉNIEURS	30
6.1	DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES UTILES À LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES	30
6.1.1	<i>Types et sources de données</i>	30
6.1.2	<i>Confiance dans les données fournies</i>	30
6.1.3	<i>Méthodes de contrôle de la qualité</i>	33
6.1.4	<i>Méthodes de prise en compte des conditions locales et régionales</i>	33
6.2	UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE POUR LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES	34
6.2.1	<i>Prise en compte de l'information climatique historique</i>	34
6.2.2	<i>Prise en compte de l'information sur les changements climatiques</i>	37
6.3	DIFFICULTÉS ET BESOINS RELATIFS À LA PRISE EN COMPTE DE L'INFORMATION CLIMATIQUE DANS LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES	41
6.3.1	<i>Données climatiques</i>	41
6.3.2	<i>Difficultés d'ordre technique pour les ingénieurs</i>	44
6.3.3	<i>Autres difficultés pour les ingénieurs</i>	46
7	OBSTACLES ET RECOMMANDATIONS	49
7.1	OBSTACLES	49
7.1.1	<i>Éducation</i>	49
7.1.2	<i>Vocabulaire commun pour les scientifiques, les ingénieurs et les intervenants</i>	49

7.1.3	<i>Évolution des connaissances sur les conséquences des changements climatiques</i>	50
7.1.4	<i>Accès aux données</i>	50
7.1.5	<i>Incertitude et prise de décisions.....</i>	51
7.1.6	<i>Absence de méthodes consensuelles</i>	51
7.1.7	<i>Coût possible de l'adaptation aux changements climatiques.....</i>	52
7.1.8	<i>Responsabilité</i>	52
7.1.9	<i>Exigences.....</i>	52
7.2	RECOMMANDATIONS	53
7.2.1	<i>Portail national de données</i>	53
7.2.2	<i>Orientation sur la prise de décisions et l'incertitude pour les ingénieurs</i>	54
7.2.3	<i>Almanach sur les changements climatiques pour les ingénieurs.....</i>	55
8	RÉFÉRENCES	56
ANNEXE A.	GUIDE D'ENTREVUE AVEC LES FOURNISSEURS DE DONNÉES	60
ANNEXE B.	GUIDE D'ENTREVUE AVEC LES INGÉNIEURS.....	64

LISTE DES FIGURES

Figure 3-1 Caractéristiques des 33 personnes interrogées dans le cadre du présent rapport, soit 16 fournisseurs de données et 17 utilisateurs finaux.....	6
--	---

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4-1	Réseaux météorologiques canadiens mentionnés dans les entretiens.....	10
Tableau 4-2	Types de modèles numériques utilisés dans les études sur les changements climatiques	11
Tableau 4-3	Horizons de planification et sources d'incertitude (adapté de Charron 2016).	14
Tableau 5-1	Principales étapes d'un protocole de contrôle de la qualité des données météorologiques (selon Fiebrich et coll. 2010).....	18
Tableau 6-1	Données météorologiques et climatiques actuellement utilisées par les ingénieurs pour la conception d'infrastructures	31
Tableau 6-2	Durée de vie utile et durée après la fin de vie utile de plusieurs types d'infrastructure au Canada (compilées à partir d'entrevues téléphoniques).....	37

GLOSSAIRE

Changements climatiques : Évolution continue à long terme, à la hausse ou à la baisse, par rapport aux conditions climatiques moyennes de référence.

Climat : Mesures statistiques à long terme des conditions météorologiques (p. ex. température, précipitations, pression atmosphérique, vent, humidité) dans une région donnée et sur une période donnée.

Conditions météorologiques : État actuel du système climatique en un endroit et à un moment particuliers, en fonction des variables météorologiques (température, précipitations, nuages, humidité, etc.).

Données climatiques : Mesures consignées des variables météorologiques (p. ex. température maximale et minimale, précipitations) normalement prélevées une ou deux fois par jour. Les données climatiques sont plus utiles que les données météorologiques pour détecter les tendances à long terme (p. ex. en ce qui a trait à la température ou aux précipitations).

Données homogénéisées : Données originales des stations rajustées en fonction des sauts causés par les changements d'instruments et de procédures d'observation. Il arrive que les observations de plusieurs stations soient combinées pour générer de longues séries temporelles. (Scénarios climatiques Canada 2017)

Données météorologiques : Mesures des variables météorologiques (température, vent, pression, etc.) prélevées en continu. Les spécialistes des prévisions météorologiques dépendent des données recueillies par les stations météorologiques pour prédire le temps qu'il fera, et notamment le temps violent.

Ensemble : Série de simulations englobant plusieurs modèles climatiques régionaux ou mondiaux ou plusieurs simulations à partir d'un même modèle.

Extrême : Se dit d'un événement rare en un endroit et à un moment de l'année particuliers (GIEC 2007).

Information climatique : Information tirée de l'étude des données climatiques archivées. Cette information comprend les extrêmes climatiques (p. ex. mesures de température et de précipitations), les prévisions et scénarios climatiques et les autres produits dérivés de l'information climatique.

Infrastructures : Bâtiments de tous types, installations de communication, installations de production et de distribution de l'énergie, installations industrielles, réseaux de transport, installations de gestion des ressources hydriques et réseaux urbains d'alimentation en eau.

Modèle climatique : Outil numérique fondé sur des équations mathématiques qui a pour but de représenter les processus du système climatique. Les équations utilisées sont basées sur les lois de la physique qui régissent la mécanique des fluides (p. ex. lois de conservation de la masse, de l'énergie et de l'impulsion). Les modèles décrivent comment l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère, la cryosphère et la biosphère se comportent et interagissent lorsqu'elles sont soumises à des forces extérieures (p. ex. rayonnement solaire, aérosols) et à des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine naturelle ou anthropique.

Modèle climatique mondial (MCM) : Modèle couvrant l'ensemble de la planète dont les grilles de calcul (domaines) ont généralement une résolution horizontale de 150 à 300 km. Les MCM sont divisés en trois catégories principales. Les MCM de la toute première génération ont été appelés *modèles de circulation*

générale de l'atmosphère (MCGA), et comprenaient seulement la partie atmosphérique du système climatique et l'interaction avec la surface terrestre continentale. Les modèles de deuxième génération, dits *modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan* (MCGAO), combinaient l'atmosphère et la terre aux modèles physiques de l'océan. Quant aux modèles de dernière génération, appelés *modèles de système terrestre* (MST), ils tiennent maintenant compte des interactions et des cycles biogéochimiques ainsi que des changements de la couverture terrestre, comme les types de végétation. Jusqu'à présent, le cycle du carbone a été intégré à la plupart des MST, et des recherches sont en cours pour inclure d'autres cycles. (Charron 2016)

Modèle régional climatique (MRC) : Modèle ne couvrant qu'une partie de la planète, avec lequel 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 MCM doivent être intégrées à leurs frontières. Cela peut aussi être fait en utilisant la réanalyse, essentiellement une technique qui combine des données historiques provenant de diverses sources pour recréer le climat passé. (Charron 2016)

Normales climatiques : Moyennes des indices climatiques servant à représenter le passé récent du climat dans une zone donnée. La période utilisée pour déterminer les normales climatiques correspond souvent à la période de référence employée dans le calcul d'évaluation des changements climatiques.

Normalisation : Processus de rédaction, de publication et de mise en œuvre des normes.

Norme : Document établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné. Les normes devraient être fondées sur les acquis conjugués de la science, de la technologie et de l'expérience et viser à maximiser les avantages pour la collectivité.

Prévisions climatiques : Portion d'une simulation de modèle climatique utilisée à des fins de prévision.

Réanalyse : Méthode scientifique servant à obtenir des données complètes sur l'évolution des conditions météorologiques et du climat au fil du temps. Il s'agit de combiner objectivement des observations et un modèle numérique simulant une ou plusieurs des dimensions du système de la Terre pour générer une estimation synthétisée de l'état du système. Habituellement, la réanalyse vise une période de plusieurs dizaines d'années, voire plus, et concerne la totalité du globe, de la surface terrestre jusqu'à bien au-delà de la stratosphère. Dans les recherches et les services climatologiques, on se sert beaucoup des réanalyses pour surveiller les conditions climatiques actuelles, les comparer à celles du passé, déterminer les causes des variations et changements climatiques et faire des prévisions climatiques. L'information tirée des réanalyses trouve aussi de plus en plus d'applications commerciales, dans des secteurs comme l'énergie, l'agriculture, les ressources hydriques et les assurances. (Reanalysis.org 2017)

Réduction d'échelle : Procédure consistant à utiliser de l'information connue à grande échelle pour faire des prévisions à l'échelle locale. (GIS Program 2017)

Résilience : Capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposée aux risques de résister, d'absorber, d'accueillir et de corriger les effets d'un danger, de manière rapide et efficace, notamment par la préservation et la restauration de ses structures essentielles et de ses fonctions de base. (Ingénieurs Canada 2017b)

Scénario d'émissions : Représentation plausible des rejets futurs d'aérosols, de gaz à effet de serre et d'autres gaz d'origine anthropique dans l'atmosphère basée sur un ensemble cohérent et homogène

d'hypothèses concernant les éléments moteurs (p. ex. progrès technologique, évolution démographique et socio-économique) et leurs interactions principales. (GIEC 2007)

Simulation climatique : Produit final d'un modèle climatique; résultats obtenus en résolvant les équations du modèle pour une période donnée.

Simulation rétrospective : Simulation météorologique numérique exécutée d'un point donné dans le passé, en fonction d'observations, jusqu'au présent, afin de générer des données climatiques historiques. La simulation rétrospective peut consister, par exemple, à s'inspirer de la réanalyse pour créer un ensemble de données synthétique permettant de produire une série de possibilités pour un événement météorologique ou une situation climatique donnée.

Station de référence : Station qui fournit des données homogènes et à long terme qui serviront à dégager les tendances climatiques. Il est souhaitable de disposer dans chaque pays d'un réseau de stations de référence représentant les zones climatiques et secteurs vulnérables principaux. Ces stations utilisent des instruments de grande qualité pour mesurer les paramètres météorologiques et climatiques conformément aux exigences et spécifications de l'OMM.

Station météorologique automatisée au sol : Station météorologique qui enregistre et transmet automatiquement des données.

Station ne servant pas de référence : Station conçue pour répondre aux besoins de surveillance météorologique et climatique de son propriétaire public ou privé. Les données ne sont pas recueillies selon les exigences et spécifications de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

Variabilité naturelle : Variations naturelles de la situation climatique découlant d'interactions non linéaires entre différentes composantes du système climatique. On qualifie de naturelles les variations des variables climatiques attribuables à des forces d'origine non anthropique. La variabilité naturelle se décompose en deux catégories, selon que les variations sont extérieures ou intérieures au système climatique. Les changements dans l'activité solaire, les éruptions volcaniques et l'orbite de la Terre modifient les régimes climatiques sur de longues périodes, soit des siècles ou des millénaires. Quant aux processus internes, ils découlent en partie des interactions entre l'atmosphère et l'océan, notamment celles observées dans le Pacifique tropical pendant un événement El Niño. Ces changements se produisent sur de courtes périodes, allant des mois aux décennies. Au cours d'une année donnée, la variabilité naturelle peut faire fluctuer le climat au-delà des moyennes à long terme.

Vulnérabilité : Degré de fragilité d'un système aux effets négatifs du climat ou son incapacité à absorber ces effets, qui comprennent la variabilité du climat et les conditions climatiques extrêmes. Elle est fonction du caractère, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat auquel le système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. (Ingénieurs Canada 2017b)

Vulnérabilité de l'ingénierie : Incapacité relative des infrastructures publiques d'absorber les effets négatifs des changements dans les conditions climatiques servant de base à la conception et à l'exploitation des infrastructures et de bénéficier des effets positifs de ces changements. (Ingénieurs Canada 2017b)

SIGLES ET ACRONYMES

CaPA	Canadian Precipitation Analysis
CCDP	Ontario Climate Change Data Portal
CCHIP	Climate Change Hazards Information Portal
CCN	Conseil canadien des normes
CEPMMT	Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme
CMIP5	Phase 5 du projet d'intercomparaison de modèles couplés
CoCoRaHS	Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CSA	Association canadienne de normalisation
CVIIP	Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques
DSCC	Données et scénarios climatiques canadiens
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
ESGF	Earth System Grid Federation
GES	Gaz à effet de serre
GHCN	Global Historical Climatology Network
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IDF	Intensité-durée-fréquence
IEESC	Institute for Energy, Environment and Sustainable Communities
MCM	Modèle climatique mondial
MRC	Modèle régional climatique
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
NARCCAP	North American Regional Climate Change Assessment Program
NCAR/UCAR	National Center for Atmospheric Research/University Corporation for Atmospheric Research
OCC	Ontario Climate Consortium
OMM	Organisation météorologique mondiale
PCIC	Pacific Climate and Impacts Consortium
PGMN	Provincial Groundwater Monitoring Network (Réseau provincial de contrôle des eaux souterraines)
PRISM	Parameter-elevation Relationships on Independent Slopes Model

RCP	Representative Concentration Pathways (profil représentatif d'évolution de concentration)
RE5	Cinquième rapport d'évaluation du GIEC
RMCQ	Réseau météorologique coopératif du Québec
RNCan	Ressources naturelles Canada
SOPFEU	Société de protection des forêts contre le feu
SOPFIM	Protection des forêts – Lutte contre les insectes ravageurs
TRCA	Toronto and Region Conservation Authority (Office de protection de la nature de Toronto et de la région)
WES Renewal	Grand projet de modernisation (commencé en 2011 et s'échelonnant sur deux plans quinquennaux) visant à ce que tous les radars canadiens soient à polarisation double

1 INTRODUCTION

Les infrastructures jouent un rôle essentiel dans les sociétés modernes et sont les piliers de la prospérité actuelle et future. L'évaluation des vulnérabilités des infrastructures aux changements climatiques représente un défi important pour les ingénieurs. Les bâtiments, installations, réseaux et systèmes du Canada sont régulièrement exposés au temps violent, et l'on s'attend à ce que ces phénomènes entraînent des conséquences importantes. Les événements météorologiques extrêmes devraient gagner en fréquence et en intensité, mettant à l'épreuve les cadres de conception d'infrastructures traditionnels.

Les pratiques, codes et normes d'ingénierie orientent les ingénieurs en ce qui a trait au fonctionnement, à la durabilité et à la sécurité des infrastructures du début à la fin de leur vie utile. Jusqu'à maintenant, ces guides se fondaient largement sur l'hypothèse d'un climat stable ou constant. À l'avenir, il faudra tenir compte dans la conception technique des conditions météorologiques extrêmes que devraient amener les changements climatiques. Si les infrastructures ne sont pas conçues en fonction du climat futur, elles ne pourront être résilientes durant toute leur vie utile.

L'évaluation de l'ampleur des changements climatiques sur des échelles temporelles et spatiales adaptées aux infrastructures et à l'ingénierie est nécessaire, mais problématique, les échelles en question n'étant pas bien prises en compte par les modèles climatiques. Il demeure difficile d'arrimer les échelles de l'information sur les changements climatiques aux besoins des ingénieurs, et les outils et méthodes dont se servent actuellement les climatologues ne conviennent pas toujours aux besoins pratiques des ingénieurs.

À ces difficultés s'ajoutent les interactions entre les infrastructures et le milieu naturel, de même que l'interdépendance des installations. Les bâtiments, installations, réseaux et systèmes fonctionnent habituellement avec d'autres infrastructures, qui ont toutes leurs propres vulnérabilités. C'est donc dire que chacune des infrastructures importantes d'une collectivité dépend non seulement de son seuil climatique de calcul, mais aussi de celui des autres, ce qui crée un ensemble complexe de vulnérabilités.

La résilience future des infrastructures nationales passe par l'intégration des changements climatiques à la production des valeurs de calcul. Une bonne planification (p. ex. conception modulaire ou évolutive) pourrait améliorer les prévisions quant aux coûts futurs des bâtiments, installations, réseaux et systèmes ainsi que leur résilience. Or, les changements climatiques, qui ne constituent pas le seul risque pour les infrastructures, ne sont pas pris en compte de façon exacte et cohérente dans les pratiques d'ingénierie actuelles. Des guides normalisés efficaces pourraient donc représenter une solution.

C'est pour éclairer et orienter l'intégration de l'information climatique aux pratiques d'ingénierie que le Conseil canadien des normes (CCN) a commandé le présent rapport. Société d'État chapeautant le réseau de normalisation du Canada, le CCN facilite l'élaboration et l'utilisation des normes nationales et internationales et des services d'accréditation en vue d'améliorer la compétitivité du Canada et le bien-être collectif de sa population. Il relève d'Innovation, Sciences et Développement économique Canada.

En 2016, le CCN a reçu des fonds du gouvernement du Canada pour piloter l'élaboration de solutions normatives qui favoriseront l'adaptation de nos infrastructures aux changements climatiques. Le présent rapport aidera le CCN, dans le cadre de son programme en matière d'infrastructures, à concevoir un guide de normalisation des données météorologiques, de l'information climatique et des prévisions relatives aux changements climatiques. Par ailleurs, le CCN continuera d'investir dans la mise à jour d'un large éventail de normes cruciales afin que les infrastructures soient préparées aux changements climatiques, dans le Nord comme ailleurs au pays.

2 OBJECTIFS

Le présent rapport a pour but :

- de faire un survol de la collecte, de la gestion et de l'utilisation des données météorologiques et climatiques au Canada;
- d'étudier comment ces données éclairent la production des valeurs de calcul entrant dans la conception des infrastructures;
- d'analyser l'intégration actuelle des projections climatiques dans les valeurs de calcul;
- de relever les problèmes d'arrimage des échelles de l'information sur les changements climatiques aux besoins pratiques des ingénieurs et d'y trouver des solutions normatives potentielles.

Ce rapport éclairera le CCN au sujet des besoins des intervenants et l'aidera à établir en conséquence les priorités pour ce qui est de parfaire les normes canadiennes touchant la collecte, la gestion et l'utilisation des données météorologiques et climatiques.

Il se veut un survol des pratiques, difficultés, lacunes et solutions *actuelles* et contient des recommandations pour l'intégration de l'information sur les changements climatiques à la conception des infrastructures au Canada. Le but consiste ni à énoncer des pratiques exemplaires ni à porter un jugement sur les pratiques actuelles et les ensembles de données. Enfin, si nous reconnaissons que l'information sur les changements climatiques est utile à toutes les phases – de la planification à l'entretien –, le rapport ne concerne que la conception des infrastructures.

2.1 PORTÉE

1. Survol des activités actuelles de collecte et de gestion des données météorologiques et climatiques générées par les stations météorologiques et climatologiques (éléments au sol) – de référence ou non – au Canada.
2. Portrait général de la situation régionale, nationale et internationale actuelle, eu égard à l'analyse de l'information climatique et à son utilisation dans la production de valeurs de calcul pour les infrastructures.
3. Portrait général de la situation régionale, nationale et internationale, eu égard à la prise en compte des prévisions climatiques dans la production de valeurs de calcul pour les infrastructures.
4. Synthèse des lacunes et des problèmes potentiels de la « chaîne d'approvisionnement », constituée par la collecte et la gestion des données météorologiques et climatiques, l'analyse de l'information climatique et la prise en compte des prévisions relatives aux changements climatiques dans la production de valeurs de calcul pour la planification et l'exploitation des infrastructures.
5. Recommandation de normes (ou d'un cadre normatif) qui :
 - accroîtraient l'exploitabilité des données recueillies à diverses fins par les stations météorologiques et climatologiques;
 - rendraient plus cohérente et exhaustive l'information climatique utilisée au Canada;
 - amélioreraient la prise en compte des changements climatiques dans la conception des infrastructures ainsi que la compréhension et la description des risques liés à leur interprétation à cet égard;

- faciliteraient la communication des incertitudes dans les renseignements de scénarios climatiques utilisés dans la production d'information climatique relative à la conception.

3 MÉTHODOLOGIE

Le présent rapport est basé sur une série de 33 entretiens téléphoniques menés auprès d'utilisateurs finaux et de fournisseurs de données météorologiques et climatiques au Canada. Comme le montre la figure 3-1, l'échantillon était diversifié, notamment sur le plan des champs d'activité, des types d'organisations (fédérales, provinciales, municipales et privées), des régions et des compétences. Les utilisateurs finaux étaient surtout des ingénieurs, et bon nombre étaient très au fait des enjeux des changements climatiques. Les sujets abordés durant les entretiens sont présentés aux annexes A et B.

Aux entretiens s'ajoute une analyse documentaire menée pour confirmer l'exhaustivité des entretiens et trouver des solutions de rechange.

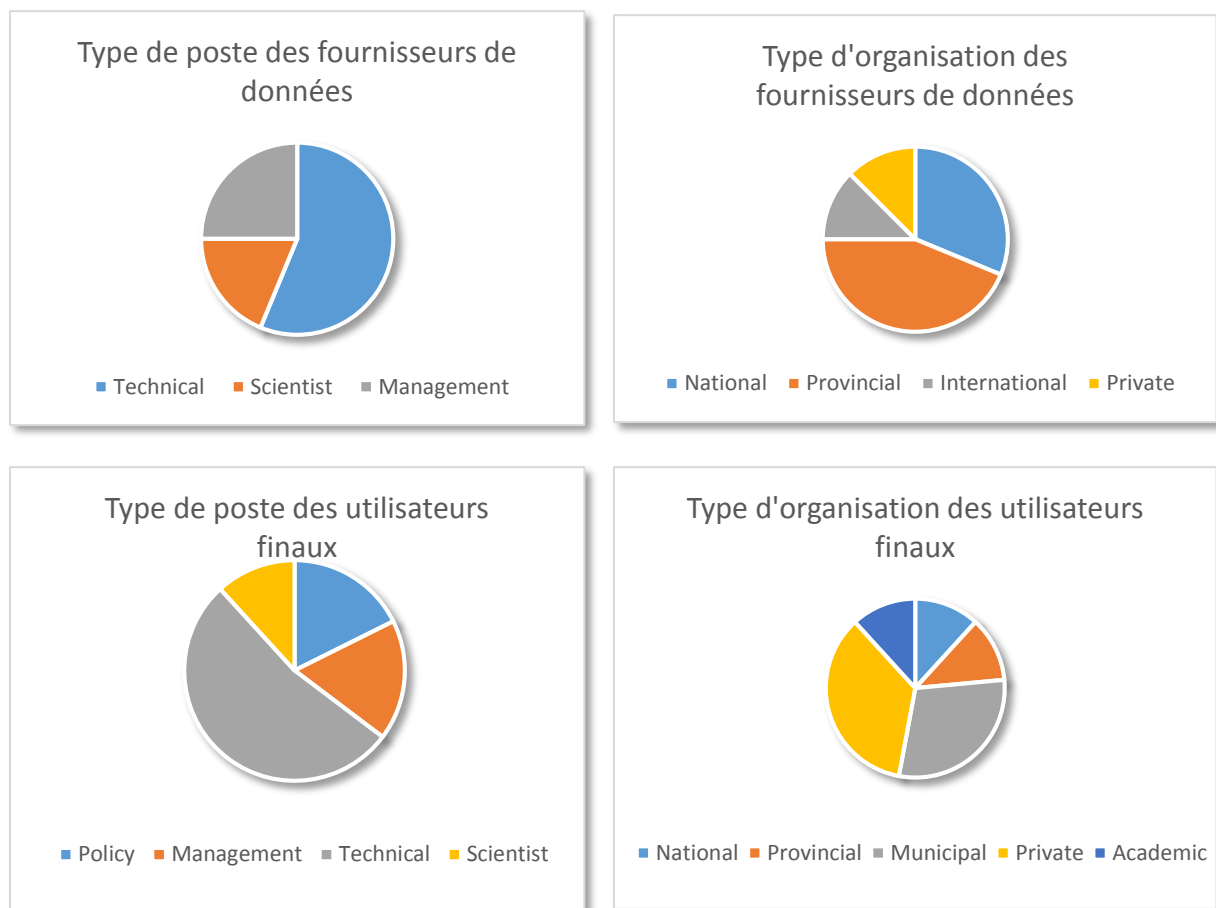


Figure 3-1 Caractéristiques des 33 personnes interrogées dans le cadre du présent rapport, soit 16 fournisseurs de données et 17 utilisateurs finaux

4 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES

4.1 DONNÉES OBSERVÉES

4.1.1 DONNÉES MONDIALES

Le Global Historical Climatology Network ([GHCN](#)) est le principal réseau fournissant les données quotidiennes de stations météorologiques installées partout dans le monde, dont celles appartenant à des réseaux nationaux comme celui d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) ou à des réseaux provinciaux. Le principal avantage du GHCN tient au fait que l'information climatique mondiale se trouve sur portail unique. Cependant, les données concernant le Canada sont limitées pour les dernières décennies.

Au nombre des sources de données citées dans les entretiens figure également [Weather Underground](#).

4.1.2 DONNÉES NATIONALES

À l'échelle nationale, ECCC recueille des données météorologiques partout au pays et fait figure d'autorité et de référence en matière de données météorologiques et climatiques. Ce ministère est respecté pour son exploitation et son entretien d'un réseau météorologique fiable et pour sa collecte de données, qui s'étend sur des décennies. Outre ses services de données, le ministère fournit des prévisions météorologiques, crée des modèles climatiques et exécute des simulations prédictives.

Fondée en 2007, [Ocean Networks Canada](#) utilise des observatoires pour recueillir des données sur les océans qui entourent le Canada. Ces données concernent « les caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et géologiques des océans sur de longues périodes et ouvrent de nouvelles possibilités pour l'étude de processus terrestres complexes » (Ocean Networks Canada 2017).

4.1.3 DONNÉES PROVINCIALES ET TERRITORIALES

Nombre de gouvernements provinciaux et territoriaux et d'organismes gouvernementaux, dont le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MDDELCC), exploitent aussi des réseaux météorologiques et transmettent à l'occasion leurs données à ECCC. Certaines de ces données météorologiques sont difficiles à trouver en raison de l'absence de portail Web; il faut alors les demander par téléphone, par courriel ou par un formulaire Web. Les principaux réseaux météorologiques au Canada sont présentés sommairement dans le tableau 4-1.

4.1.4 DONNÉES MUNICIPALES ET DONNÉES DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Les grandes villes, comme Montréal, Toronto et Vancouver, exploitent leur propre réseau météorologique, surtout pour le suivi des précipitations. Ces réseaux sont souvent formés d'un grand nombre de stations couvrant une superficie relativement petite. Par exemple, celui de la Ville de Montréal compte une cinquantaine de pluviomètres répartis sur toute l'île. En Ontario, les offices de protection de la nature exploitent des réseaux météorologiques à l'échelle des bassins hydrographiques.

4.1.5 DONNÉES PRIVÉES

Beaucoup d'entreprises privées exploitent de petits réseaux météorologiques pour recueillir des données et parfois les transmettent à des organisations partenaires. Ces réseaux privés ne représentent toutefois qu'une fraction des stations au Canada.

[Hydro Météo](#), une entreprise québécoise spécialisée dans le soutien relatif aux inondations, facilite l'installation et la gestion de [stations météorologiques dans certaines parties de la province](#). En Saskatchewan, Weather Innovations Incorporated ([WIN](#)) exploite un réseau météorologique privé aux fins d'assurance-récolte. Les données d'une bonne partie des stations privées au Canada sont accessibles au moyen du [portail Web Weatherlink.com](#), un important réseau mondial indépendant.

Enfin, les mesures des stations météorologiques des aéroports ne sont pas toujours accessibles par l'entremise d'ECCC. Par exemple, plusieurs aéroports locaux (p. ex. Harbour Tower, Pitt Meadows, Boundary Bay, en Colombie-Britannique) fournissent par téléphone ou par radiocommunication aéronautique des données météorologiques destinées à la navigation aérienne, mais aucune de ces données n'est consignée. Par ailleurs, l'absence de contrôle de la qualité soulève des inquiétudes (Administration portuaire de Vancouver 2017).

Tableau 4-1 Réseaux météorologiques canadiens mentionnés dans les entretiens

Province ou territoire	Réseaux météorologiques
Colombie-Britannique	Provincial Climate Data Set
Alberta	Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta Deux réseaux météorologiques d'Alberta Agriculture, Food and Rural Development : DroughtNet AGDM et Irrigation Management Climate Information Network (IMCIN) Ministère de l'Environnement et du Développement durable des ressources de l'Alberta Ministère de l'Environnement et des Parcs de l'Alberta Ministère des Transports de l'Alberta
Saskatchewan	Saskatchewan Research Council
Manitoba	Réseau météorologique d'Agriculture Manitoba
Ontario	Réseau provincial de contrôle des eaux souterraines (PGMN) Cote air santé (surveillance de la qualité de l'air)
Québec	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) Protection des forêts – Lutte contre les insectes ravageurs (SOPFIM) Hydro-Québec La Financière agricole
Nouveau-Brunswick	Stations météorologiques forestières de Ressources naturelles Nouveau-Brunswick
Île-du-Prince-Édouard	Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard
Yukon	Section de la gestion des feux de forêt du Yukon

4.2 MODÈLES CLIMATIQUES

4.2.1 MODÈLES MONDIAUX

Les simulations climatiques numériques génèrent des connaissances sur les conditions climatiques futures. Durant les années 1950 et 1960, les chercheurs ont commencé à simuler les processus atmosphériques au moyen de modèles climatiques informatisés (Charney et coll. 1950). Quoique rudimentaires comparativement aux standards d'aujourd'hui, les premiers modèles ont produit des résultats qui concordent à peu près avec les valeurs récentes, ce qui place à environ 3,5 °C le réchauffement associé à un doublement des concentrations de CO₂. Les modèles climatiques mondiaux (MCM, tableau 4-2) servent à simuler le système climatique de la planète en analysant ses cinq

éléments : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère. Les limites des ordinateurs obligent les modélisateurs à utiliser des résolutions horizontales plutôt basses, soit de 150 à 300 km (modèles actuels cités dans le dernier rapport du GIEC [Flato et coll. 2013]), selon la complexité du modèle et la puissance de traitement disponible. Il est essentiel d'exécuter les simulations sur de longues périodes, allant des siècles aux millénaires. Or, l'utilisation de résolutions supérieures est impossible avec les MCM, les ordinateurs d'aujourd'hui manquant de puissance. Du point de vue des ingénieurs, cette faible résolution pose problème, car il leur faut de l'information précise sur le plan spatial et temporel. Ce sont donc les échelles locale et régionale qui leur sont utiles, surtout lorsqu'il est question de temps violent (p. ex. rafales de vent, charges neigeuses élevées, fortes précipitations), toujours causé par des processus physiques à petite échelle.

Les MCM servent aussi à la réanalyse, une méthode objective qui consiste à combiner un modèle numérique, habituellement un modèle numérique de prévisions météorologiques, à des observations antérieures pour créer un ensemble de données synthétique couvrant la totalité du globe pour une période antérieure. À l'aide de techniques d'assimilation (arrimage de la réanalyse exécutée aux observations à l'aide d'équations mathématiques), les observations tirées de nombreux ensembles de données (p. ex. données de satellites et de stations météorologiques) sont incluses dans une passe de réanalyse. Durant une simulation de réanalyse, le modèle assimile les observations à des intervalles de temps réguliers, ce qui le rapproche d'un état d'observation.

L'avantage de la réanalyse par rapport aux observations météorologiques réside dans le fait que les modèles simulent beaucoup plus de variables (p. ex. humidité et champs de pression sur trois dimensions, vent), qui sont disponibles même pour des sites dépourvus d'instruments de mesure puisque la réanalyse génère de l'information à partir de grilles informatiques à intervalles réguliers. La résolution peut toutefois être basse – habituellement entre celle des MCM et celle des modèles régionaux climatiques (MRC) –, et ne suffit donc pas à bien simuler des précipitations extrêmes. Au cours des prochaines années, les nouvelles générations de réanalyses fourniront toutes des résolutions d'environ 25 à 35 km.

Des simulations climatiques et des réanalyses sont produites par plusieurs établissements de recherche dans le monde, dont le [Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique](#), l'[Institut Pierre-Simon-Laplace](#), la [Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation](#), l'[Institut météorologique du Danemark](#), le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme ([CEPMMT](#)) et le National Center for Atmospheric Research/University Corporation for Atmospheric Research ([NCAR/UCAR](#)). La plupart des données sont libres et ouvertes et diffusées sur des portails (article 5.2.1).

Tableau 4-2 Types de modèles numériques utilisés dans les études sur les changements climatiques

Type	Résolution en km (génération actuelle)	Territoire couvert	Utilité
Modèle climatique mondial	150 à 300	Monde	Prévisions climatiques à basse résolution
Modèle climatique régional	20 à 50	Zone limitée	Prévisions climatiques à haute résolution

Réanalyse	50 à 250	Monde	Reconstitution de conditions climatiques antérieures
Simulation rétrospective	1 à 300	Monde ou zone limitée, selon l'objectif	Connaissances sur un événement en particulier

4.2.2 MODÈLES RÉGIONAUX

Comme la résolution de l'information climatique des MCM est habituellement basse, il faut appliquer des techniques de réduction d'échelle, qui servent à produire des analyses à petite échelle. On compte deux grandes catégories : la réduction dynamique et la réduction statistique.

La **réduction dynamique** se fait à partir d'un MRC (tableau 4-2) qui contient de l'information tirée d'un MCM ou d'une réanalyse. En concentrant toute la puissance de traitement sur une zone limitée du globe, on peut augmenter la résolution spatiale des MRC. Cependant, comme leur domaine de calcul ne correspond qu'à une zone limitée du globe, les MRC ont besoin d'information climatique sur les territoires limitrophes pour décrire l'évolution des systèmes atmosphériques qui s'insèrent dans le domaine régional. On alimente donc habituellement les MRC en données en puisant dans des simulations de MCM ou des réanalyses de modèles. Les MRC ont une plus haute résolution que les MCM, soit habituellement entre 20 et 50 km lorsque le domaine couvre toute l'Amérique du Nord; pour augmenter la résolution, on peut réduire le domaine. Les plus hautes résolutions (environ 20 km) ne sont possibles qu'avec les MRC de la dernière génération, accessibles depuis 2012. Par conséquent, on ne trouve que quelques simulations, et l'incertitude est mal échantillonnée vu le plus petit nombre de simulations disponibles. Le principal avantage de l'augmentation de la résolution réside dans la représentation plus fidèle des caractéristiques à petite échelle, comme la topographie locale, les lacs, les divers types de végétation et les contrastes de température terre-mer. Tous ces facteurs peuvent influencer la configuration locale des précipitations et revêtir une importance pour les questions d'ingénierie.

Les approches de **réduction statistique** sont fondées sur l'hypothèse voulant que les caractéristiques locales et régionales du climat puissent être extraites des variables climatiques à grande échelle. On peut alors recourir à diverses techniques (p. ex. régression multiple, générateurs stochastiques, réseaux neuronaux) pour établir les relations statistiques entre les conditions locales observées et les prédictors tirés d'un MCM ou d'un MRC. Avec la réduction statistique, on tient pour acquis que les relations statistiques établies pour le passé récent demeureront constantes dans l'avenir. Cette approche est relativement peu coûteuse et rapide, comparativement à la réduction dynamique, mais n'a pas les mêmes bases physiques. Il importe de souligner que si la réduction statistique produit de l'information à plus petite échelle, la quantité, la précision et l'exactitude de cette information ne sont pas supérieures.

À l'instar des MCM, on crée des MRC dans de nombreuses institutions dans le monde, dont la plupart participent à la Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment ([CORDEX](#)). Parrainée par le Programme mondial de recherches sur le climat (PMRC), la CORDEX assure une coordination mondiale de la réduction d'échelle dans une perspective d'amélioration de l'adaptation aux changements climatiques et des études d'impact des régions.

4.2.3 SIMULATIONS RÉTROSPECTIVES

La simulation rétrospective est une technique particulière, inspirée de la réanalyse et utilisée dans les domaines de la recherche et des services climatiques, des applications commerciales (principalement dans le secteur du pétrole et du gaz naturel pour les décisions entourant la conception et l'exploitation d'infrastructures côtières et en mer) et des études climatiques à haute résolution (Université York et Novus Environmental Inc. 2017). Des scientifiques et des entreprises privées s'en servent pour créer une série de possibilités et ainsi produire des ensembles de données synthétiques relativement à un événement. En règle générale, les simulations rétrospectives ont pour point de départ un événement météorologique ou un état du climat en particulier et sont de courte durée (p. ex. de quelques semaines à quelques années). Leur objectif est d'étudier rétrospectivement des événements extrêmes passés et la probabilité de récurrence aux fins d'estimation des valeurs de calcul. Ces simulations sont habituellement le fait d'entreprises privées, comme Novus Environmental Inc. (Université York et Novus Environmental Inc. 2017) et Ocean Weather Inc., et de réassureurs, comme Swiss Re.

Les changements climatiques ne sont pas compris dans les applications de simulation rétrospective, mais sont généralement pris en compte dans les réanalyses portant sur une période antérieure (p. ex. de 1979 à 2015).

4.2.4 SCÉNARIOS CLIMATIQUES

On appelle *scénarios climatiques* les tendances futures plausibles du climat. Ils sont construits à partir de simulations climatiques, généralement à l'aide d'une méthode de post-traitement. Les scénarios climatiques sont disponibles pour les variables associées à des données d'observation fiables. On les produit en arrimant l'information climatique tirée des observations passées aux prévisions issues d'un modèle climatique (Thiemeßl et coll. 2012; Gennaretti et coll. 2015). Parce qu'ils intègrent l'information climatique observée aux simulations climatiques, les scénarios génèrent un produit mieux adapté aux besoins que les extrants directs des modèles climatiques. Par exemple, les simulations (scénarios climatiques) dont les biais ont été corrigés peuvent être utilisées directement avec les modèles d'impact, qui sont étalonnés en fonction de seuils critiques observés, contrairement aux extrants directs des modèles climatiques, qui peuvent comporter des biais importants.

a) Réduction d'échelle et correction de biais

Comme mentionné plus tôt, la réduction de l'information à une échelle locale afin de la rendre pertinente pour les ingénieurs se fait généralement par une méthode dynamique ou une méthode statistique. Une fois l'échelle réduite, l'information climatique contenue dans un MCM ou un MRC présentera certains biais découlant des représentations mathématiques imparfaites du système climatique; par exemple, les équations physiques d'un MCM ou d'un MRC sont discrétisées sur des grilles d'une résolution précise, tandis que dans la réalité, tout se fait de façon continue. Comme certains des processus physiques ne sont pas résolus explicitement à la résolution des MCM et des MRC, leurs extrants ne doivent jamais être comparés directement aux observations; il faut les corriger à la lumière d'un ensemble de données d'observation de référence, un processus appelé *correction de biais*. Il existe une multitude de techniques de correction de biais, et leur énumération déborderait le cadre du présent rapport. On en trouvera une présentation exhaustive et critique dans Maraun (2016) et les ouvrages cités par cet auteur. Aux fins de référence, le Pacific Climate and Impacts Consortium (PCIC) a produit un vaste ensemble de données obtenues par réduction statistique.

4.2.5 INCERTITUDE ET VARIABILITÉ

L'incertitude quant aux prévisions climatiques est habituellement associée à trois sources, soit :

- les émissions anthropiques futures;
- les différences dans la formulation des modèles;
- la variabilité naturelle du climat (Hawkins et Sutton 2011).

Comme le montre le tableau 4-3, ces sources sont liées à différents horizons de planification et échelles temporelles. Pour les horizons à court terme (moins de 30 ans), les décideurs doivent tenir compte de la variabilité naturelle du climat. À cette échelle temporelle, le signal de changement climatique est plus faible que la fourchette des variations naturelles du climat, et l'incertitude associée au modèle climatique est modérée. Pour les horizons à moyen terme (entre 30 et 50 ans), les deux principales sources d'incertitude sont les scénarios d'émissions et le modèle climatique. Pour les horizons à long terme (plus de 50 ans), ce sont les scénarios d'émissions qui constituent la première source d'incertitude, suivis des scénarios de modélisation climatique et de la variabilité naturelle du climat. Sur cet horizon, le signal de changement climatique est plus fort que la variabilité naturelle du climat, mais l'incertitude est élevée, puisque les émissions futures de gaz à effet de serre (GES) attribuables aux activités humaines sont inconnues.

Tableau 4-3 Horizons de planification et sources d'incertitude (adapté de Charron 2016).

Horizon de planification	Importance relative des sources d'incertitude			Principales sources à prendre en compte dans les décisions
	Variabilité naturelle	Scénario d'émissions	Modèle climatique	
Court terme (moins de 30 ans)	***	*	**	Variabilité naturelle
Moyen terme (de 30 à 50 ans)	*	**	**	Scénarios d'émissions et modèles climatiques
Long terme (plus de 50 ans)	*	***	**	Scénarios d'émissions

5 FOURNISSEURS DE DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES

Le présent chapitre décrit la situation actuelle en ce qui a trait aux fournisseurs de données météorologiques et aux services climatiques et est fondé sur une série d'entrevues semi-dirigées avec des fournisseurs de données d'observation. Il traite des simulations climatiques, de la chaîne d'approvisionnement des données, du déploiement des instruments, de la gestion des réseaux météorologiques, de la diffusion des données et des services à valeur ajoutée qui reposent sur les données météorologiques et climatiques.

La collecte, la diffusion et le contrôle de la qualité des données sont essentiellement uniformes au Canada, bien que les variables diffèrent quelque peu. Dans les régions côtières, par exemple, on recueille des données sur les marées et les vagues, en plus de celles sur la température, les précipitations, le vent et la charge neigeuse.

5.1 COLLECTE ET EXPLOITATION DES DONNÉES

5.1.1 PRINCIPAL OBJECTIF DES ACTIVITÉS ACTUELLES DE COLLECTE DE DONNÉES ET DE DÉPLOIEMENT D'INSTRUMENTS

L'objectif de la collecte de données varie considérablement d'une organisation à l'autre, mais se classe généralement dans l'une des deux grandes catégories suivantes :

1. **Caractérisation du climat** : Les données servent au calcul des normales climatiques (ECCC), des scénarios climatiques pour les utilisateurs (Ouranos, Office de protection de la nature de Toronto et de la région [TRCA], OCC, PCIC) et des courbes intensité-durée-fréquence (IDF), et pour les besoins de modélisation (ECCC).
2. **Optimisation opérationnelle** : Les données servent à éclairer la gestion des bassins hydrographiques et des infrastructures municipales (p. ex. emplacement des infrastructures, conception des réseaux d'aqueducs et d'égouts). Parmi les utilisations en temps réel des données météorologiques, on trouve les activités de construction (hélicoptères, terminaux portuaires), la mise en contexte des études environnementales (p. ex. une sécheresse récente influera sur la phénologie végétale observée) et la gestion des infrastructures existantes (p. ex. barrages).

Les stratégies de déploiement sont variables et dépendent du but de la collecte de données et des objectifs de l'organisation concernée.

Caractérisation du climat

Les réseaux régionaux, provinciaux, territoriaux et nationaux de collecte de données respectent habituellement les normes de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et s'inscrivent dans une stratégie de déploiement à long terme prévoyant le maintien de stations équipées des mêmes types de capteurs aux mêmes endroits pour la plus longue durée possible. L'emplacement statique empêche les nouvelles données météorologiques de nuire à l'homogénéité d'une série temporelle observée et de fausser l'estimation de la tendance pour une variable donnée. Ainsi, la caractérisation du climat fournit le contexte nécessaire à la compréhension des événements extrêmes rares et améliore l'arrimage avec le domaine de la conception des infrastructures.

Parmi ces réseaux de collecte de données, mentionnons ECCC, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MDDELCC), le Provincial Climate Data Set de la Colombie-Britannique (PCDS), les organismes publics comme Hydro-Québec, le TRCA, les municipalités, La Financière agricole du Québec et les organisations privées comme Solutions Mesonet.

Optimisation opérationnelle

Les réseaux météorologiques urbains sont une source importante de données. Ils ont généralement une forte densité spatiale, puisque la nature hétérogène du paysage urbain modifie considérablement les champs météorologiques (Muller et coll. 2013). La plupart servent des objectifs opérationnels, comme c'est le cas pour les réseaux exploités par de grandes villes comme Montréal, Toronto et Vancouver. Les pluviomètres de certaines de ces stations sont en place depuis plus de 20 ans, et leurs données peuvent servir à évaluer la variabilité spatiale et temporelle (Ville de Montréal 2017). Il n'est pas certain cependant que ce déploiement stratégique peut être utile pour la caractérisation du climat, l'optimisation opérationnelle ayant pour but de répondre à des questions opérationnelles, comme l'évaluation du débit dans un canal urbain donné (Direction de l'expertise hydrique du Québec 2017; Ville de Montréal 2017). Une fois la question opérationnelle résolue, les pluviomètres peuvent être déployés ailleurs pour l'analyse d'un autre problème, ce qui brise la continuité des données dont ont généralement besoin les scientifiques.

L'installation de réseaux météorologiques urbains suit d'aussi près que possible les normes internationales, de manière à réduire l'incertitude d'évaluation. Cependant, comme certaines stations météorologiques municipales ne respectent pas les normes de l'OMM en raison de contraintes liées au milieu urbain (p. ex. elles se trouvent sur le toit d'un bâtiment), seulement une partie du réseau peut servir au calcul des courbes IDF (Ville de Montréal 2017).

5.1.2 DIFFICULTÉS DE GESTION, D'ENTRETIEN ET D'EXPLOITATION

Le coût élevé de l'entretien des stations météorologiques met en péril la qualité des données à long terme. L'installation d'une station est rarement onéreuse, mais à la longue, l'exploitation et l'entretien peuvent finir par nécessiter d'importants investissements (ECCC 2017a; Hydro-Québec 2017; Solutions Mesonet 2017). D'après les exploitants interrogés, le calendrier d'entretien type comprend une inspection des stations au printemps et à l'automne. Les capteurs météorologiques tombent rarement en panne, mais la neige peut les obstruer. À ce problème s'ajoutent les dommages causés par la faune, le vandalisme et les défaillances de batterie. Lorsqu'une station en région éloignée cesse de fonctionner durant l'hiver, elle n'est souvent réparée qu'au printemps en raison de la difficulté d'accès. Par conséquent, la collecte de données est interrompue pendant un certain temps, ce qui peut nuire au dégagement des tendances à long terme.

5.1.3 CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Le contrôle de la qualité dans la chaîne d'approvisionnement des données météorologiques et climatiques est primordial pour la fiabilité des variables mesurées au fil du temps. La première étape du processus de contrôle consiste à vérifier que les capteurs des stations météorologiques sont de bonne qualité, que l'emplacement et l'installation respectent les normes de l'OMM, que le site est entretenu comme il se doit et que les données sont transmises adéquatement à la base de données centrale. Les protocoles de contrôle de la plupart des organisations reposent à la fois sur des algorithmes automatisés et des interventions humaines. En règle générale, le personnel crée et applique des algorithmes suivant de près les pratiques exemplaires d'organisations internationales comme l'OMM, Météo-France et

l'Université de l'Oklahoma. Ces méthodes garantissent la fiabilité de toute la chaîne d'approvisionnement.

Étant donné que les protocoles de contrôle de la qualité d'une organisation peuvent lui servir pour se démarquer des concurrents, leur détail n'est habituellement divulgué qu'aux partenaires et aux clients. Les protocoles partagent toutefois une approche générale et des pratiques exemplaires, comme celles élaborées par le [réseau météorologique à méso-échelle de l'Université de l'Oklahoma](#) (Fiebrich et coll. 2010). Pour connaître en détail les étapes énumérées dans le Tableau 5-1, qui résume les pratiques exemplaires des réseaux météorologiques du monde entier, le lecteur est invité à consulter Fiebrich et coll. (2010). Il pourra y puiser des pratiques à partir desquelles il établira ses protocoles. Muller et coll. (2013) décrivent d'autres réseaux à méso-échelle aux États-Unis.

Les organisations soumettent toute la série temporelle de données à un contrôle de la qualité en utilisant les valeurs subhoraires et quotidiennes, ou seulement les valeurs quotidiennes (Hydro-Québec 2017). Certaines recueillent des données horaires, mais n'ont besoin que de données quotidiennes et effectuent leur contrôle au moyen des valeurs globales. Autrement dit, les données de qualité non contrôlée pourraient ne pas convenir au calcul des courbes IDF.

Lorsqu'une organisation consulte des stations pour des opérations en temps réel ou à court terme, le contrôle de la qualité se limite habituellement à des épreuves automatisées. Les données marquées comme erronées ne font pas l'objet d'une enquête ou, si une vérification est faite, elle n'a pour but que de comprendre et de valider le bon fonctionnement des tests automatisés. En cas d'inondation, la vérification valide aussi l'importance des données, pour les besoins d'ingénierie et en prévision d'éventuelles procédures judiciaires (Ville de Montréal 2017).

Tableau 5-1 Principales étapes d'un protocole de contrôle de la qualité des données météorologiques (selon Fiebrich et coll. 2010)

Catégorie	Modules	Normes existantes	Points à prendre en compte
Considérations générales quant au contrôle de la qualité	Emplacement adéquat de la station Entretien adéquat du site Étalonnage adéquat des capteurs Archivage des données originales Utilisation d'unités de temps et d'observation standard Utilisation d'instruments et de configurations similaires pour les différents sites Utilisation de capteurs redondants	OMM	Choix stratégiques et tactiques
Contrôle automatisé général de la qualité	Tests de plage Vérifications temporelles Vérifications spatiales Tests de comparaison avec les instruments semblables et tests de consistance interne Tests de réglage Décision de signalement pour le contrôle automatisé final de la qualité	Aucune	Selon l'emplacement
Considérations et épreuves propres à une variable	Température de l'air Pression atmosphérique Humidité relative et point de rosée Humidité du sol Température du sol Chute de pluie Chute et épaisseur de neige Rayonnement Vents	Aucune	Chaque variable présente différentes contraintes qui doivent être vérifiées et qui sont propres à l'emplacement

Contrôle manuel de la qualité	Après les épreuves automatisées propres à une variable, vérification des données erronées par le technicien	Aucune Jugement d'expert	Contre-vérification des données signalées par comparaison avec les stations proches ou par observation humaine
--------------------------------------	---	--------------------------	--

Les considérations générales quant au contrôle de la qualité, comme l'emplacement et l'entretien des stations météorologiques et l'étalonnage des capteurs, sont traitées dans la publication [OMM-N° 8](#), intitulée *Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques*, un document complet et à jour des pratiques les plus efficaces pour les observations et les mesures météorologiques qui est suivi par tous les grands réseaux météorologiques au Canada ayant des capacités de caractérisation du climat. Lors d'un contrôle automatisé, les données peuvent être marquées comme erronées, mais les données brutes (originales) ne sont jamais supprimées.

Le contrôle automatisé général de la qualité consiste en une série de tests qui détecte les données potentiellement erronées en vérifiant la cohérence des valeurs enregistrées. Les tests de plage relèvent les écarts importants dans les données consécutives. Par exemple, une observation horaire de 32 °C sera signalée comme potentiellement erronée si la valeur précédente est de 5 °C. La vérification spatiale sert à s'assurer que les stations météorologiques situées près l'une de l'autre enregistrent des valeurs similaires, à l'intérieur des champs spatiaux de la variable. Ce type de vérification différera selon la variable analysée; par exemple, le champ de précipitations sera plus hétérogène que le champ de température.

Les considérations et épreuves propres à une variable concernent la cohérence physique des valeurs enregistrées et le signalement des précipitations négatives, des températures trop hautes ou trop basses, etc.

Enfin, le contrôle manuel est essentiel au protocole de contrôle de la qualité, vu l'impossibilité de créer un algorithme automatisé qui signalera toutes les données erronées avec une exactitude parfaite. La vérification manuelle des données erronées est nécessaire à la fois pour consolider l'ensemble de données et pour valider les tests automatisés.

Acteur important et relativement nouveau dans le domaine du contrôle de la qualité par seconde partie, Solutions Mesonet est un organisme sans but lucratif qui effectue des contrôles selon les procédures décrites plus haut, dans le cadre d'un partenariat avec le réseau météorologique à méso-échelle de l'Université de l'Oklahoma (www.mesonet.org). Cet organisme travaille avec une multitude de clients et de partenaires, notamment Hydro-Québec, Rio Tinto, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), La Financière agricole et le Réseau météorologique coopératif du Québec (RMCQ). La plupart des partenaires téléversent leurs données sur la plateforme de Solutions Mesonet. Le contrôle est ensuite effectué soit par Solutions Mesonet, soit par son partenaire au moyen d'une connexion à distance, puis les données sont renvoyées. D'autres organisations utilisent l'algorithme de Solutions Mesonet à l'interne. Comme elles partagent le même processus de contrôle de la qualité, ces organisations peuvent plus facilement échanger leurs données, sachant que les mêmes protocoles ont été appliqués.

5.2 DIFFUSION DES DONNÉES

5.2.1 PORTAILS DE DONNÉES

La plupart des organisations qui recueillent des données climatiques les diffusent aussi sur l'un des portails Web où sont publiés des données brutes, des données de qualité contrôlée, ou les deux. L'accès rapide à des données et à de l'information climatique fiables est essentiel à la consolidation des connaissances scientifiques et à la capacité de prendre des décisions éclairées (Giuliani et coll. 2017). La plupart de ces portails présentent des limites, certains ne donnant pas aux utilisateurs l'information nécessaire pour se servir adéquatement des données, tandis que d'autres ne publient qu'une liste partielle des variables prises en compte. La nature autonome de certains sites Web fait qu'ils restent inconnus des utilisateurs finaux. Les fournisseurs de données climatiques et les ingénieurs gagneraient à disposer d'un canal de communication plus efficace.

De nouveaux portails de données apparaissent constamment, et il devient difficile pour les praticiens de distinguer les sources fiables. On peut en déduire un manque d'expertise sur les ensembles de données à utiliser ou à éviter.

Parmi les types de données, il y a aussi les réanalyses et les simulations basées sur des modèles climatiques. Ces données sont utiles aux sociétés d'ingénierie et sont parfois nécessaires à des études exhaustives des changements climatiques. On peut notamment les trouver sur le portail d'un centre de modélisation, comme celui du [Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique](#), ou sur un portail de projet, comme ceux de la phase 5 du projet d'intercomparaison de modèles couplés ([CMIP5](#)) et de la [CORDEX](#), où sont hébergés différents extraits de modèle.

a) Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)

ECCC est la seule organisation s'intéressant à tout le Canada, ce qui en fait un chef de file dans la communication de données. Le ministère fournit de nombreux types de données, comme les observations météorologiques horaires et quotidiennes, les normales climatiques, les données de modèles de prévision météorologique et les données radar. La diffusion d'ensembles aussi diversifiés est un défi en soi, car chaque type comporte ses propres contraintes. C'est pourquoi ECCC propose plusieurs moyens d'accéder aux données, comme son [dépôt de données](#) et le [site Web « Environnement et ressources naturelles »](#).

Cette diversité peut dérouter les utilisateurs, et il serait donc très utile de leur fournir une liste complète des services de données climatiques d'ECCC. Pour ceux qui ont de bonnes aptitudes techniques, il est plus facile et plus efficace de consulter les bases de données d'ECCC au moyen de scripts codés (ECCC 2017a). L'adoption d'une approche plus conviviale pourrait accroître l'utilisation et la diffusion (CBCL 2017).

b) Simulations climatiques

Pour les simulations climatiques, il existe différents portails de données, qu'ils soient associés à des centres de modélisation ou à des projets unifiés comme la CMIP5, le North American Regional Climate Change Assessment Program (NARCCAP) et la CORDEX. Les centres de modélisation utilisent un même protocole d'expérimentation. Les projets scientifiques unifiés et leurs portails, quant à eux, suivent des conventions pour la dénomination des fichiers et le stockage des données, de sorte qu'il est facile pour les utilisateurs finaux de gérer un grand volume de données. À titre d'exemple, mentionnons l'ESGF, un partenariat qui :

« [...] crée, déploie et entretient des infrastructures logicielles pour la gestion, la diffusion et l'analyse des extraits des modèles et des données d'observation. L'ESGF a pour but premier de faciliter l'avancement de la science des systèmes terrestres. Il s'agit d'un projet interorganismes et international chapeauté par le département de l'Énergie des États-Unis (DOE) et cofinancé par la National Aeronautics and Space Administration (NASA), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la National Science Foundation (NSF) et des laboratoires de partout dans le monde, comme l'Institut Max-Planck pour la météorologie (MPI-M), le Centre allemand d'application de l'informatique à la climatologie (DKRZ), l'Université nationale d'Australie (ANU), la National Computational Infrastructure (NCI), l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL) et le British Atmospheric Data Center (BADC). » (ESGF 2017)

c) Autres portails de données

Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC)

« Grâce à son portail, le Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) rend publiques et ouvertes les données qu'il recueille et produit (PCIC 2017a). On peut y trouver les données des stations de la Colombie-Britannique, de l'information climatique à haute résolution et des scénarios climatiques obtenus par réduction d'échelle. » (PCIC 2017a)

Ontario Climate Change Data Portal (CCDP)

« Le lancement du Ontario Climate Change Data Portal (CCDP) a pour but de donner aux utilisateurs finaux, qu'il s'agisse d'experts techniques ou non (p. ex. municipalités, secteur privé), un accès facile et intuitif aux plus récentes données climatiques de la Province de l'Ontario, au Canada. » (CCDP 2017)

Climate Change Hazards Information Portal (CCHIP)

« Le Climate Change Hazards Information Portal est un outil Web créé par [Risk Sciences International](#) (RSI) qui vise l'intégration des incidences des changements climatiques aux plans et aux décisions des organisations. Son objectif est de fournir, grâce à des algorithmes personnalisés et à une interface conviviale, de l'information à une multitude d'utilisateurs finaux à la recherche d'indicateurs climatiques précis. » (CCHIP 2017)

5.2.2 COORDINATION ENTRE LES FOURNISSEURS DE DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES

a) Réseau de réseaux

ECCC pilote actuellement un projet visant à établir un réseau de réseaux. Bien que l'élaboration en soit encore à ses premiers stades, le projet présente quelques caractéristiques dignes de mention. Il vise à recueillir toutes les données disponibles auprès des organisations et partenaires canadiens – civils, municipaux, régionaux, provinciaux, territoriaux et nationaux –, sans restriction. La plupart des données font l'objet d'un contrôle des valeurs aberrantes ou des écarts irréalistes entre les mesures au moyen de protocoles automatisés de contrôle de la qualité (article 5.1.3). Cette approche pose cependant un problème : la fiabilité des données dans une base en particulier est variable. Le mélange des deux niveaux de normalisation des données risque de fausser les résultats. Par exemple, l'une des personnes interrogées a fait valoir que le processus d'homogénéisation d'ECCC pour les données de précipitations influait considérablement sur certains indicateurs, dont le bilan hydrique annuel des bassins hydrographiques. En d'autres mots, la réduction de l'incertitude d'échantillonnage par la prise en

compte du plus grand volume de données possible fait augmenter l'incertitude d'évaluation, puisqu'il en résulte un mélange de données de qualité contrôlée et d'autres de qualité non contrôlée. Cela dit, le compromis est facilement défendable : le gain qu'amène l'ajout de données pour les sites qui ne sont pas équipés des instruments nécessaires – surtout s'il est question de précipitations – dépasse de loin la perte qu'occasionne l'augmentation de l'incertitude d'évaluation pour les sites qui en sont pourvus.

Le réseau de réseaux serait une avancée remarquable pour la diffusion des données (ECCC 2017a) et regrouperait plusieurs sources de données météorologiques :

- Aéroports (NAV CANADA)
- Défense nationale (surtout des stations nordiques)
- Réseau des stations agricoles de l'Alberta
- Ministères fédéral et provinciaux responsables des forêts
- Stations météorologiques des Jeux panaméricains
- Réseau météorologique coopératif du Québec (RMCQ)
- Community Collaborative Rain, Hail and Snow Network (CoCoRaHS)

b) Réseau météorologique coopératif du Québec (RMCQ)

Les principaux gestionnaires des réseaux météorologiques au Québec – le MDDELCC, ECCC, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Hydro-Québec, Rio Tinto et la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) – collaborent par l'entremise du RMCQ. Le choix des capteurs, de même que le mode de transmission et de manipulation des données, repose sur les pratiques exemplaires déjà en vigueur à ECCC.

Comptant près de 325 stations au Québec, le réseau permet aux membres de diffuser en temps réel des données météorologiques conformes à des normes de qualité préétablies. Les données sont publiées dans un format simple et uniforme sur le site Web de chaque partenaire, et l'accès est limité aux membres du RMCQ au moyen d'un protocole de transfert de fichiers (FTP) protégé par mot de passe. Les partenaires peuvent ainsi utiliser l'information selon leurs besoins. Les données non corrigées – et jamais les données de qualité contrôlée – sont fournies 20 minutes après l'heure pile. Chaque partenaire effectue son propre contrôle de la qualité, et la plupart appliquent à cette fin la procédure de Solutions Mesonet.

5.3 PRESTATION DE SERVICES CLIMATIQUES

Les prestataires de services climatiques adaptent l'information des fournisseurs de données climatiques aux besoins des utilisateurs finaux (Huard et coll. 2014). Ils offrent une vaste gamme de conseils et de produits : données météorologiques de qualité contrôlée (ils servent de carrefour pour les fournisseurs de données climatiques et donnent leur jugement d'expert sur l'adéquation globale entre les ensembles de données et les besoins des utilisateurs finaux); sommaires de données et analyses statistiques; simulations climatiques prospectives dont les biais ont été corrigés; prévisions hydrologiques des débits des cours d'eau pour différents bassins hydrographiques; analogues spatiaux et avis d'expert accompagnés d'un soutien continu (Huard et coll. 2014). ECCC est un prestataire important pour les utilisateurs finaux, générant des produits climatiques (p. ex. courbes IDF, normales climatiques) et des données sur diverses variables (p. ex., pression du vent, charge neigeuse) pour les codes du bâtiment. Dernièrement, des organisations comme le PCIC, l'OCC et Ouranos ont mené des projets multidisciplinaires rassemblant scientifiques et utilisateurs finaux. L'offre des prestataires de services climatiques comprend également l'arrimage des simulations climatiques aux besoins des utilisateurs finaux.

Beaucoup de prestataires fournissent aussi bien des données brutes que des produits conçus sur mesure. Les personnes interrogées ont cité comme prestataires :

- ECCC,
- l'Université Western Ontario,
- l'Université de Waterloo,
- l'Université de Regina,
- Ouranos,
- le PCIC,
- l'OCC,
- des organisations privées (RSI, Novus Environmental Inc., Amec Foster Wheeler, etc.).

Les prestataires utilisent pour la plupart des données recueillies par ECCC et d'autres fournisseurs et se fient à ceux-ci pour le contrôle de la qualité. Ils peuvent aussi analyser des ensembles de données pour en faire ressortir les forces et les faiblesses, un exercice très important pour les utilisateurs finaux (Huard et coll. 2014).

Au nombre des précieux services offerts par les prestataires figurent aussi les simulations climatiques (p. ex. CMIP3, CMIP5, CORDEX), un élément essentiel des études des changements climatiques. Les données modélisées sont source de confusion pour la plupart des utilisateurs finaux, qui voient les modèles climatiques comme des boîtes noires (descriptions limitées des choix faits par les modélisateurs, des forces et des faiblesses d'un modèle donné, des types de modèle les mieux adaptés à un projet en particulier, etc.). Les ingénieurs interrogés parlaient d'un manque généralisé de documents adaptés sur les modèles climatiques et, plus précisément, la manière d'utiliser leurs extrants.

5.3.1 SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Les scénarios climatiques sont des « représentations plausibles du climat futur conçues expressément pour étudier les incidences potentielles des changements climatiques d'origine humaine » (Mearns et coll. 2001). Les méthodes de construction des scénarios varient beaucoup, allant de l'utilisation directe des extrants des MCM à la réduction d'échelle des grands champs des MCM et des MRC, en passant par les analogues spatiaux.

Il est souvent nécessaire d'augmenter la résolution par réduction d'échelle pour obtenir plus d'information régionale et locale, surtout lorsqu'il est question des données de précipitations générées par les modèles climatiques. Il n'existe pas de norme sur la réduction d'échelle, notamment parce que les techniques sont choisies au cas par cas. Les techniques en question constituent un sujet de recherche vaste et important pour les climatologues, mais certaines sont plus courantes que d'autres. Par exemple, l'alignement des simulations climatiques sur une série temporelle observée se fait souvent par l'établissement des probabilités par quantiles, une méthode qui englobe de nombreuses exécutions différentes. À défaut d'un consensus sur la technique à appliquer, les praticiens et les scientifiques utilisent l'une ou l'autre de celles proposées dans la littérature spécialisée. Chaque technique produit cependant des résultats légèrement différents, ce qui alimente l'incertitude.

La construction d'un scénario climatique à l'échelle régionale ou locale comporte de nombreuses étapes :

- Réduire l'information à grande échelle des MCM par une méthode dynamique ou statistique.
- Interpoler, au besoin, l'information mondiale ou l'information obtenue par réduction dynamique ou statistique sur une grille à haute résolution ordinaire (ou un point), lorsqu'un ensemble de données de référence est disponible.

- Corriger les biais statistiques de la simulation climatique (p. ex. établissement des probabilités par quantiles) par comparaison avec l'ensemble de données de référence.

La correction des biais statistiques fait partie intégrante du processus d'intégration de l'information sur les changements climatiques aux modèles d'impact, aux évaluations de la vulnérabilité ou à la conception des infrastructures. Elle consiste à comparer les simulations climatiques à un ensemble de données de référence; la qualité de la correction de biais subséquente dépendra directement de celle de l'ensemble de référence. Le choix de cet ensemble est partiellement subjectif, et beaucoup d'ensembles de référence produiront des résultats qui, en général, ne différeront que légèrement. Les écarts peuvent toutefois être grands, selon l'indicateur ou la variable climatique et le secteur dont il est question; par exemple, lorsque les précipitations quotidiennes extrêmes dans une zone dépourvue de station d'observation – et donc d'ensemble de données réparties sur une grille – servent de référence. Par ailleurs, il est possible que la variabilité naturelle entraîne une mésestimation des conditions climatiques dans une fenêtre d'échantillonnage donnée (p. ex. 1980-2010). En d'autres mots, si les simulations sont combinées à des données climatiques imparfaites, il y a un risque de sous-estimation ou de surestimation des conditions météorologiques et climatiques extrêmes. Les techniques de correction de biais permettent d'utiliser les extraits des modèles climatiques dans des modèles d'impact étalonnés en fonction d'un ensemble de données observées, souvent du type mentionné précédemment.

5.3.2 DONNÉES CLIMATIQUES SECONDAIRES

Les données climatiques secondaires sont obtenues par une transformation scientifique des données (p. ex. observations météorologiques, extraits de simulation climatique, scénarios climatiques) en produits pratiques. Les principaux acteurs sont ECCC, les universités – surtout celles qui ont un département de génie, comme l'Université de Waterloo et l'Université Western Ontario – et les prestataires de services climatiques, comme le PCIC, Ouranos, RSI et Novus Environmental Inc. Chaque indicateur climatique (p. ex. courbe IDF) présente son lot de difficultés.

a) *Courbes intensité-durée-fréquence de pluviosité*

Les courbes IDF représentent la probabilité que des pluies d'une intensité donnée se produisent pour une durée particulière à un certain endroit. Elles sont essentielles à la prise en compte des pluies dans la planification et la gestion de la conception (article 6.2.1). Or, les méthodes actuelles de calcul des courbes IDF reposent sur les données existantes et l'hypothèse d'un climat statique (aucun signal de changement climatique), hypothèse mise à mal par les études sur les changements climatiques, surtout si l'on allonge l'horizon temporel. Des chercheurs (p. ex. Simonovic et coll. [2016]) sont en train de mettre au point des méthodes qui tiennent compte du signal de changement climatique. Par ailleurs, l'accès à de l'information exacte sur les pluies à grande fréquence peut poser problème (Ville de Montréal 2017). À titre d'exemple, ECCC mesure les précipitations subhoraires au moyen de pluviomètres à auget basculeur, mais ces données ne sont pas faciles à obtenir.

Il ressort des entretiens qu'ECCC ne met pas les courbes IDF à jour assez rapidement pour les besoins des ingénieurs. Par conséquent, les sociétés d'ingénierie, les municipalités, les entreprises de services publics et les chercheurs se retrouvent à devoir faire leurs propres calculs en utilisant les dernières données et méthodes disponibles, ce qui ouvre la porte à des courbes IDF non normalisées. Ces dernières années, le nombre de groupes produisant des courbes IDF a augmenté, tout comme la confusion des utilisateurs, qui n'ont souvent pas les connaissances nécessaires pour savoir laquelle utiliser.

Simonovic et coll. (2016) nomment d'autres facteurs expliquant l'augmentation du nombre de fournisseurs de courbes IDF.

- L'hétérogénéité spatiale des tendances de pluies extrêmes devenant mieux connue et documentée, la valeur des courbes IDF « pertinentes à l'échelle locale » se démontre plus facilement.
- L'expansion des secteurs urbains réduit généralement la perméabilité des bassins hydrographiques aux eaux de pluie et de ruissellement, vu les modifications à l'utilisation du sol au cours du cycle de vie, et les vieux systèmes d'eau sont de plus en plus nombreux à afficher un déficit et une performance inférieure aux attentes. Pour bien saisir l'ampleur de ces déficits, il faut de l'information sur les apports maximaux (pluies extrêmes) qu'ont à gérer les systèmes de drainage.
- Notons que les changements climatiques feront probablement augmenter l'intensité et la fréquence des événements de précipitations extrêmes dans la plupart des régions (GIEC 2012).

À ce manque d'accès rapide à des courbes IDF à jour s'ajoutent les limites quant aux renseignements sur les méthodes d'intégration des changements climatiques aux courbes IDF, ce qui met en évidence la nécessité d'un cadre de résultats consignés et reproductibles.

5.3.3 MODÈLES SPATIAUX

Les modèles spatiaux sont tirés des mesures des stations météorologiques et présentent l'information sur une grille. Cette méthode a l'avantage de pouvoir créer de l'information sur un endroit donné à défaut d'observations, ce qui peut être utile aux ingénieurs (CCN et Ouranos 2017). L'exactitude de la grille dépend de la distance entre les stations et l'endroit en question; par exemple, s'il n'y a pas de station à proximité, les modèles spatiaux comporteront d'importantes erreurs, qui pourront toutefois être estimées et consignées. Les modèles spatiaux peuvent aussi générer de l'information pour une région en particulier (p. ex. bassin hydrographique, ville). Autrement dit, ils peuvent servir à combler les manques de données et à évaluer les degrés d'incertitude quant aux observations météorologiques. Leur principale limite tient à la faible densité des réseaux. Pour déterminer la variabilité spatiotemporelle des processus de précipitations, il faut vraisemblablement une densité spatiale d'un ordre de grandeur supérieur (Ressources naturelles Canada [RNC] 2017).

Il existe plusieurs moyens de créer de l'information spatiale, comme le Parameter-elevation Relationships on Independent Slopes Model ([PRISM](#)) (Daly et coll. 2008), la Canadian Precipitation Analysis ([CaPA](#)), l'[interpolation optimale](#) et le logiciel [ANUSPLIN](#). Ce dernier a été cité maintes fois dans les entretiens, et est utilisé actuellement par le Service canadien des forêts et Ressources naturelles Canada pour l'interpolation des données multivariées bruitées. Le moteur de ce logiciel repose sur des surfaces mathématiques (splines de lissage « plaque mince ») qui représentent une approximation de la surface où les observations météorologiques sont manquantes. De ces surfaces sont extraites des grilles d'une résolution de 10 km ainsi que des analyses statistiques complètes, des diagnostics de données et des distributions spatiales des erreurs-types.

Les modèles spatiaux peuvent également servir à fournir des données de résolution supérieure, comme des grilles de résolution de plus de 10 km, souvent pratiques dans les projets d'ingénierie. Cependant, d'aussi fines résolutions occasionnent des problèmes de gestion des données, attribuables principalement aux grands volumes, mais aussi au transfert et au traitement. Par conséquent, ces modèles à haute résolution ne peuvent être archivés sur la plateforme de Ressources naturelles Canada en raison des limites de stockage, et doivent donc être hébergés sur le serveur de l'utilisateur (RNC 2017).

5.3.4 CHARGES NOMINALES

Il existe des difficultés inhérentes à la conversion des données météorologiques et climatiques en charges pour les codes du bâtiment. La granularité dont ont besoin les ingénieurs pour arriver à une conception adéquate est quelque peu incompatible avec celle des données météorologiques et climatiques; par exemple, s'il faut connaître la pression du vent pour une infrastructure située dans une vallée et que la station météorologique la plus proche se trouve hors de cette vallée, il faudra convertir les valeurs de vent de la station au moyen de jugements s'appuyant sur les connaissances actuelles (ECCC 2017b). Ces jugements sont comparés aux résultats d'autres experts dans le but d'éviter une mésestimation des charges (Morris 2017; ECCC 2017b).

5.4 POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DES ENSEMBLES DE DONNÉES

5.4.1 DISPONIBILITÉ DES VARIABLES MÉTÉOROLOGIQUES

Les personnes interrogées ont été nombreuses à parler des données de précipitations subhoraires. Par le passé, les utilisateurs pouvaient les obtenir auprès d'ECCC, par tranches de cinq minutes, un mois après leur enregistrement. À l'heure actuelle, il est beaucoup plus difficile d'obtenir ce type de données; seules les valeurs quotidiennes sont accessibles rapidement (Ville de Montréal 2017). Dans ce contexte, plusieurs personnes interrogées se sont dites préoccupées par la normalisation des données de précipitations subhoraires (Ville de Montréal 2017) et ont soulevé des problèmes d'accessibilité.

La catégorisation des précipitations fait partie des préoccupations des ingénieurs; par exemple, l'estimation des charges neigeuses est nécessaire à la conception des infrastructures. À partir des années 1980, beaucoup de réseaux météorologiques ont été automatisés. Or, on sait que les stations automatisées donnent des estimations moins fiables du type de précipitations (liquide, solide, pluie verglaçante, grésil), puisqu'elles n'indiquent que les précipitations totales et ne distinguent pas les chutes de neige. Bien qu'il existe des méthodes permettant de convertir les précipitations en chutes de neige selon la température, celles-ci deviennent moins fiables lorsque la température avoisine le 0 °C. Nombre des personnes interrogées étaient d'avis que l'une des principales difficultés entourant l'estimation de la charge neigeuse tient au fait que les mesures de l'équivalent en eau de la neige ne sont pas enregistrées (Morris 2017). Les nouveaux capteurs qu'utilise Hydro-Québec (instruments GMON – Gamma MONitoring) pourraient améliorer l'estimation de la charge neigeuse, puisqu'ils calculent directement l'équivalent en eau de la neige. En ajoutant la mesure de l'épaisseur de neige par un capteur SR50, on peut mieux estimer la densité de la neige (Hydro-Québec 2017). Enfin, ECCC ne peut accéder rapidement aux données de charge neigeuse des organisations provinciales, territoriales et autres, ce qui complique le travail d'estimation (ECCC 2017b; Morris 2017).

5.4.2 CONFIANCE QUANT AUX VARIABLES ET PRÉVISIONS CLIMATIQUES

Les ingénieurs travaillent sur des projets précis (p. ex. ponts, barrages, égouts) pour lesquels ils ont besoin de données régionales et locales. Étant donnée la faible densité des réseaux, les données archivées sur les événements extrêmes peuvent être considérablement influencées par les erreurs d'échantillonnage spatial, ce qui crée de l'incertitude quant aux chutes de pluie extrêmes réelles pour une région donnée. Comme les processus physiques associés aux précipitations, à la neige et au vent sont pour la plupart liés à des processus localisés, la densité actuelle des réseaux météorologiques ne permet pas de recueillir les données sur ces variables clés avec assez de précision. De plus, cette faible densité signifie que de grandes portions du territoire canadien sont mal couvertes. Il peut en découler des erreurs d'échantillonnage; par exemple, un événement extrême peut se produire sans qu'une station puisse l'enregistrer.

Au nombre des sources d'erreur figurent non seulement l'échantillonnage spatial, mais aussi l'échantillonnage temporel. Quelle période les données doivent-elles couvrir pour que l'ingénieur puisse bien calculer les intervalles de récurrence? Pour le calcul d'une normale climatique, l'OMM et ECCC recommandent 30 ans, mais il arrive qu'on emploie des périodes de 10 ans (Morris 2017; ECCC 2017b). Or, le fait de baser la probabilité d'un événement à récurrence de 50 ans sur un échantillon de 10 ans introduit énormément d'incertitude. À l'heure actuelle, les données antérieures sont source d'incertitude; les intervalles de confiance sont calculés, mais pas intégrés aux différents codes du bâtiment (Morris 2017; ECCC 2017b). Il convient d'ajouter que les normes sur les normales climatiques de l'OMM sont conçues pour les conditions moyennes, et non pour les valeurs extrêmes. Il y aurait peut-être lieu de songer à établir des périodes minimales pour le calcul des intervalles de récurrence.

Outre l'incertitude inhérente aux prévisions climatiques, les méthodes de correction de biais peuvent être sujettes à des « problèmes d'inflation » (Maraun 2013; PCIC 2017b); par exemple, la valeur future corrigée des précipitations dans les prévisions climatiques peut différer largement des observations historiques. La cause est le plus souvent une inadéquation entre les extrants de modèles climatiques et l'ensemble de données observées de référence pour une période antérieure commune.

Enfin, l'évaluation de la certitude scientifique quant aux différentes variables a fait l'objet de nombreux rapports (GIEC 2013; Ouranos 2015; GIEC 2012).

5.4.3 COMMUNICATION DES DONNÉES

Les données des petits réseaux, comme ceux des municipalités et des offices de protection de la nature, sont transmises aux réseaux provinciaux, territoriaux et nationaux de manière ponctuelle. La communication des ensembles de données comporte d'importantes difficultés techniques et scientifiques. Par exemple, le format des données brutes peut différer. D'un point de vue pratique, l'utilisation de différents formats nécessite le partage d'un cadre technique et la coopération du propriétaire du réseau. La diversité des protocoles de contrôle de la qualité peut aussi poser problème; il serait donc utile de les normaliser.

En ce qui a trait à la diffusion, nombre des personnes interrogées ont de la difficulté à s'y retrouver en raison des multiples portails de données et de l'insuffisance de la documentation.

5.4.4 DONNÉES DE TÉLÉDETECTION

Certaines sources d'une grande valeur potentielle, comme les ensembles de données radar et de données satellite, ne sont pas incorporées dans la plupart des produits climatiques, et les entretiens révèlent un besoin en ce sens (CCN et Ouranos 2017). Bien que leur utilisation comporte des difficultés intrinsèques, on peut actuellement trouver l'expertise nécessaire pour les surmonter et bien interpréter les données. ECCC est en train de déployer de nouveaux radars dans le cadre du programme WES Renewal, l'objectif étant que tous les radars canadiens soient à double polarisation. Les nouveaux radars ont notamment l'avantage d'amener une amélioration théorique de l'exactitude des estimations des précipitations et la capacité de distinguer la forte pluie, la grêle, la neige et le grésil. Certaines des personnes interrogées ont toutefois exprimé des doutes quant à la possibilité d'incorporer de façon fiable les données radar dans l'étude du climat sans un contrôle supplémentaire de la qualité.

5.4.5 GESTION DE L'INCERTITUDE

La capacité des modèles climatiques à simuler adéquatement les variables physiques est une préoccupation courante des utilisateurs de données. Certains se méfient des prévisions climatiques, tandis que d'autres leur font confiance, mais jugent que le principal problème réside dans leur intégration concrète. Il y a lieu de normaliser les procédures, d'autant plus que les utilisateurs finaux ne

prennent pas nécessairement en compte l'incertitude et que les prestataires de services climatiques ne connaissent pas toujours les besoins précis des ingénieurs (TRCA 2017).

5.4.6 SÉLECTION D'UN ENSEMBLE DE SIMULATIONS

Chez les personnes interrogées, on se questionne souvent sur l'ensemble de simulations qui convient le mieux à une variable, une région, un phénomène climatique et une échelle temporelle donnés pour une analyse d'impact. La sélection de l'ensemble de simulations de modèles climatiques précède généralement la phase de planification de l'infrastructure. Il est souvent difficile pour les ingénieurs de choisir le bon ensemble, vu la multiplicité des modèles et des résolutions. Beaucoup se tournent vers les portails partagés (p. ex. ESGF, CORDEX, NARCCAP), qui n'hébergent toutefois pas de scénarios climatiques. Les climatologues sont conscients du danger qu'il peut y avoir à comparer les extrants directs des simulations climatiques aux observations historiques sans procéder à la réduction d'échelle et à la correction de biais qui s'imposent. De nombreux ingénieurs, cependant, sont moins au fait de ce danger potentiel.

5.4.7 MÉTHODES DE RÉDUCTION D'ÉCHELLE ET CORRECTION DE BIAIS

L'absence de consensus quant aux stratégies efficaces de conversion et de réduction d'échelle des prévisions climatiques pour les précipitations localisées de courte durée pose problème. Les universités et les groupes de recherche n'utilisent pas tous les mêmes techniques, et il n'y a pas de concertation sur la scène nationale, provinciale ou territoriale au sujet des normes ou pratiques acceptables. Il faudrait dégager un consensus quant aux techniques de réduction d'échelle à employer pour les précipitations, le vent, la neige et la température, afin d'éviter que les utilisateurs se fient à des techniques inadéquates ou entreprennent ce long travail eux-mêmes. La méthode de réduction peut devoir être adaptée à un objectif particulier.

6 POINTS DE VUE DES INGÉNIEURS

Le présent chapitre porte sur les principales difficultés rencontrées par les ingénieurs qui souhaitent incorporer l'information sur les changements climatiques à la conception d'infrastructures. La section 6.1 décrit les données climatiques accessibles et utiles aux ingénieurs, la section 6.2 traite de leur utilisation pour la conception d'infrastructures, et la section 6.3 présente les difficultés particulières pour les ingénieurs.

6.1 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET CLIMATIQUES UTILES À LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES

6.1.1 TYPES ET SOURCES DE DONNÉES

Le processus de conception d'infrastructures au Canada fait appel à plusieurs types de données hydroclimatiques. Le tableau 6-1 présente une liste non exhaustive des types de données, des variables, des indicateurs et des sources actuellement utilisés par les ingénieurs.

Pour concevoir des infrastructures, la plupart des ingénieurs se servent de données observées et des indicateurs climatiques qu'on en tire (CCN et Ouranos 2017). L'utilisation de produits spécialisés tels que les données homogénéisées, les données radar, les données de simulation rétrospective, les données de réanalyse et les prévisions climatiques et leurs dérivés demeure cependant marginale (CCN et Ouranos 2017).

ECCC est le principal fournisseur de données observées et de produits climatiques entrant dans la conception d'infrastructures au Canada. Les entrevues menées montrent clairement que les données et les produits météorologiques de sources provinciales, territoriales et privées servent moins couramment que ceux de sources nationales. Les fournisseurs de services climatiques sont des entités de diverses natures, et comprennent les entreprises privées, les universités et les centres de recherche.

Les types de données utilisées varient selon le champ d'activité, et encore plus selon qu'elles s'appliquent à la conception ou à l'exploitation; par exemple, le recours à des données radar est plus fréquent pour l'exploitation. Notons que les données servant à l'exploitation ne figurent pas au tableau 6-1, puisque le présent rapport se consacre aux données utilisées pour la conception d'infrastructures.

6.1.2 CONFIANCE DANS LES DONNÉES FOURNIES

Le présent article porte sur la confiance des ingénieurs dans les données qu'on leur fournit. Pour ce qui est des climatologues, cet aspect est traité à l'article 5.4.2.

a) Données observées

En général, les ingénieurs ont confiance dans les données de sources nationales, comme celles d'ECCC et de Pêches et Océans Canada. ECCC est un fournisseur faisant autorité, et la majorité des ingénieurs se fient à ses données observées et aux produits climatiques qui en sont dérivés (gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017; AME Group 2017; Golder Associates 2017; Ville de Montréal 2017), à une exception près : les courbes IDF (paragraphe 6.3.1a). Par ailleurs, avant de se servir de nouvelles

données, les ingénieurs effectuent toujours des épreuves de contrôle de la qualité afin de s'assurer qu'elles ne comportent ni biais ni incohérences (CBCL 2017; Golder Associates 2017).

Les ingénieurs ont moins confiance dans les données des municipalités et des organisations privées, car ils n'en connaissent pas bien les processus de collecte et de contrôle de la qualité (Amec Foster Wheeler 2017; CBCL 2017).

Tableau 6-1 Données météorologiques et climatiques actuellement utilisées par les ingénieurs pour la conception d'infrastructures

Types de données	Variables/indicateurs	Fournisseurs de services climatiques ou produits particuliers
Observations	Précipitations	ECCC À l'interne
	Vent	ECCC
	Évapotranspiration	À l'interne : généré à partir d'autres variables
	Manteau nival/équivalent en eau de la neige	Base de données publique À l'interne
	Débit des cours d'eau	ECCC Organismes provinciaux ou territoriaux À l'interne
	Niveau de la mer	Pêches et Océans Canada
Données homogénéisées	Température	ECCC
	Précipitations	ECCC
Produits dérivés des données observées	Courbe IDF	ECCC Université Western Ontario Université de Waterloo À l'interne
	Charge neigeuse	États-Unis : U.S. Army Corps of Engineers États-Unis : organismes d'État Canada : ECCC/code du bâtiment
	Charge éolienne	ECCC Code du bâtiment Normes de la CSA
	Charge de précipitations	ECCC Code du bâtiment Normes de la CSA
	Charge de glace sur les structures (tours, lignes de transmission, systèmes de lignes de contact aériennes)	ECCC Normes de la CSA
	Charge de glace sur les cours d'eau (épaisseur et densité)	Code du bâtiment
	Intensité du rayonnement solaire diffus et direct, degré de couverture nuageuse, vitesse du vent, direction du vent, température du thermomètre sec à l'extérieur et humidité relative	Fichiers météorologiques canadiens pour l'énergie et le génie (FMCEG) Année météorologique typique (fichiers TMY)
	Vagues	Modèles numériques exécutés à l'interne (p. ex. Mike21)
	Débit de pointe	Modèles numériques exécutés à l'interne (p. ex. PCSWMM) Analyse statistique à l'interne
Données radar	Précipitations	ECCC Entreprise privée
Données de simulation rétrospective	Plusieurs variables provenant des modèles climatiques	Royaume-Uni : entreprise privée (OceanWeather) et le Met Office
	Vent et vagues dans le bassin de l'Atlantique	ECCC (MSC50)

Prévisions climatiques	Précipitations Vent Température Glace de mer Niveau d'eau	Projet CMIP5 Projet CMIP3 Projet NARCCAP Modèles climatiques régionaux Prévisions d'ensemble
Produits dérivés des prévisions climatiques	Courbe IDF	Université Western Ontario
	Élévation du niveau de la mer	Pêches et Océans Canada Système mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS) Commission océanographique intergouvernementale (COI)
	Précipitations	À l'interne : équation de Clausius-Clapeyron
	Indices de température et de précipitations	PCIC Ouranos Entreprises privées : RSI, Amec Foster Wheeler
	Intensité du rayonnement solaire diffus et direct, degré de couverture nuageuse, vitesse du vent, direction du vent, température du thermomètre sec à l'extérieur et humidité relative	Université de Southampton : <i>Climate Change World Weather File Generator</i> pour les données météorologiques mondiales

b) Données sur les changements climatiques

En ce qui concerne les prévisions climatiques et leurs produits dérivés, le degré de confiance varie beaucoup d'un ingénieur à l'autre. Certains estiment que les modèles climatiques sont des boîtes noires, et éprouvent une certaine méfiance à leur égard à cause de l'incertitude inhérente aux simulations basées sur eux. Le manque de ressources pertinentes, comme des documents, renforce d'ailleurs la comparaison avec la boîte noire. On pourrait inspirer davantage confiance dans les prévisions des modèles climatiques avec, par exemple, le guide rédigé par I. Charron (2016). Cependant, d'autres ingénieurs se sont familiarisés avec les modèles climatiques et sont aujourd'hui à l'aise avec les prévisions relatives aux changements climatiques. Ils comprennent que les modèles climatiques sont sophistiqués et, bien qu'imparfaits, leur trouvent des applications pratiques (article 6.2.2).

Le degré de confiance est également influencé par la source des données climatiques. Des ingénieurs se sont dits dépassés par la quantité de données et de publications disponibles sur les changements climatiques. Dans les circonstances, des lignes directrices concrètes leur seraient utiles. Les ingénieurs auraient aussi avantage à collaborer avec les fournisseurs de services climatiques. À ce chapitre, citons en exemple la relation entre Metro Vancouver et le PCIC (Metro Vancouver 2017) et la collaboration à l'interne au sein d'Amec Foster Wheeler (2017).

La confiance est en outre liée à l'état des connaissances des climatologues sur les différentes variables (article 5.4.2). Les données sur la température sont considérées comme les plus fiables, alors que celles sur les précipitations, le vent, la pluie verglaçante et la hausse du niveau de la mer soulèvent davantage le doute (Ingénieurs Canada 2017a).

Le niveau de confiance requis pour qu'un ingénieur intègre des données particulières à une analyse dépend du contexte d'utilisation. D'une part, on tolère un faible degré de confiance pour les rapports d'évaluation des risques (paragraphe 6.2.2e) (Amec Foster Wheeler 2017) et la comparaison d'options (paragraphe 6.2.1b) (AME Group 2017). Dans ces cas, on emploie les données même si les climatologues ont peu foi en elles. D'autre part, on exige un haut degré de confiance pour la conception, particulièrement lorsque la sécurité et le coût sont des aspects importants (Amec Foster Wheeler 2017).

6.1.3 MÉTHODES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

En règle générale, les ingénieurs effectuent des épreuves de contrôle de la qualité de base lorsqu'ils travaillent avec de nouvelles données. Au fur et à mesure qu'ils s'en servent, la confiance s'installe, et le contrôle n'est plus appliqué systématiquement. C'est le type de donnée qui déterminera la nature des épreuves. Dans le cas d'une série temporelle, par exemple, les ingénieurs compareront les données avec celles de stations météorologiques ou de jaugeage voisines pour repérer les écarts éventuels. S'ils remarquent des données manquantes, ils les remplaceront par celles des stations voisines ou par une moyenne pluriannuelle. Lors du calcul des statistiques annuelles, ils ne tiendront pas compte des années présentant plus d'un certain pourcentage de données manquantes, celui-ci variant entre cinq et sept pour cent (Golder Associates 2017; CBCL 2017). Ces méthodes sont conformes aux pratiques exemplaires relatives à l'utilisation de données observées.

Comme le montre le tableau 6-1, certains ingénieurs se servent d'ensembles de données homogénéisées et remaniées sur les précipitations fournis par ECCC (Mekis et Vincent 2011; Vincent et coll. 2002). Cette pratique n'est toutefois pas répandue, car ces ensembles de données sont peu connus hors du milieu de la climatologie. Certaines questions subsistent également quant à savoir si les données homogénéisées représentent bien les conditions climatiques passées. À titre d'exemple, on produit des résultats fort différents si on applique des séries hydroclimatiques temporelles homogénéisées à un même problème (paragraphe 6.2.1a). En particulier, les stations météorologiques ont tendance à sous-estimer les premiers millimètres de précipitations. En outre, les bilans hydriques calculés avec des données homogénéisées peuvent être de 20 à 30 pour cent plus élevés (Golder Associates 2017). Bien que plusieurs articles scientifiques traitent des données homogénéisées, les ingénieurs demandent de meilleures lignes directrices sur leur utilisation.

6.1.4 MÉTHODES DE PRISE EN COMPTE DES CONDITIONS LOCALES ET RÉGIONALES

Il arrive que les ingénieurs conçoivent des infrastructures pour des emplacements où il n'existe que peu ou pas de données observées ou de dérivés de ces données. Une telle lacune n'est pas nécessairement problématique dans le cas d'études de comparaison des options de conception (paragraphe 6.2.1b). Afin de tenir compte des données manquantes, les ingénieurs calculent divers indicateurs climatiques, comme des courbes IDF, en se servant des données de la station d'ECCC la plus près ou de plusieurs stations voisines. Les courbes IDF ne sont pas calculées systématiquement pour toutes les stations météorologiques, puisque certaines ne sont pas équipées de pluviomètres à auget basculeur. De nombreux ingénieurs préfèrent calculer leurs propres courbes IDF en se basant sur les données de stations situées à proximité plutôt que de se fier aux tracés calculés automatiquement d'après les données d'autres stations. Si les données enregistrées ne couvrent pas une période assez longue, on tiendra alors compte des stations voisines (Golder Associates 2017).

Lorsque les travaux se situent dans un très petit bassin hydrographique, les firmes d'ingénierie déploient parfois des stations munies de fluviomètres, qui enregistrent des données sur une période d'un à deux ans, avant la fin de la conception du projet. Ces données entrent dans le processus d'étalonnage du modèle hydrologique (paragraphe 6.2.1a) (Golder Associates 2017). L'utilisation d'aussi petits volumes de données peut poser problème, particulièrement pour les zones à forte variabilité interannuelle, et ne saurait être envisagée comme une pratique exemplaire. Néanmoins, les projets s'étendent généralement sur une courte période, et aucune autre solution ne fournit les données nécessaires.

Dans les cas où il n'existe aucune observation fiable, les ingénieurs pourraient se servir de données de simulation rétrospective ou de réanalyse. Par exemple, le modèle MSC50 d'ECCC a généré de

l'information sur les vagues et les vents de la côte atlantique canadienne pour les 60 dernières années (CBCL 2017).

6.2 UTILISATION DE L'INFORMATION CLIMATIQUE POUR LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES

6.2.1 PRISE EN COMPTE DE L'INFORMATION CLIMATIQUE HISTORIQUE

a) Paramètres de conception des infrastructures

L'information climatique est intégrée à la conception d'infrastructures par des paramètres de conception. La nature et la provenance de tels paramètres dépendent principalement du champ d'activité, du type d'infrastructure et des pratiques exemplaires. Au cours des entrevues, les personnes interrogées ont énoncé les principaux paramètres de conception associés au climat et propres aux différents champs d'activité.

Bâtiments et structures

Ce champ d'activité comprend les constructions en surface, comme les bâtiments, les pylônes et les ponts.

En ce qui concerne les bâtiments, la résistance structurale se fonde sur des paramètres tels les charges dues au vent, à la neige et à la pluie. Ces paramètres sont incorporés aux équations pour les conceptions simples, et aux modèles numériques pour les structures complexes. Ces équations et ces modèles orientent la détermination des caractéristiques individuelles de chaque élément structurel, qui doivent supporter des charges précisées par les codes du bâtiment.

Pour les systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air (CVCA), les codes du bâtiment prescrivent des paramètres de conception concernant notamment l'intensité du rayonnement solaire diffus et direct, le degré de couverture nuageuse, la vitesse du vent, la direction du vent, la température du thermomètre sec à l'extérieur et l'humidité relative. Ces exigences varient selon l'emplacement.

Pour concevoir un pont, les ingénieurs ont besoin d'information sur le débit de pointe du cours d'eau. Ces données s'obtiennent de diverses façons, expliquées ci-dessous sous le titre *Infrastructures de ressources en eau et installations d'entreposage des résidus*. Le débit de pointe entre dans les modèles hydrauliques et procure des renseignements sur les niveaux et les vitesses de l'eau à l'emplacement du pont, avec lesquels les ingénieurs déterminent la revanche au-dessus du cours d'eau et l'espacement des piles. Pour calculer la charge, ils ont également besoin de connaître la force et l'épaisseur de la glace qui poussera sur les piles.

Infrastructures de ressources en eau et installations d'entreposage des résidus

Ce champ d'activité comprend les ouvrages souterrains et en surface de gestion des eaux, notamment les ponceaux, les égouts, les aqueducs, les déversoirs, les barrages et les digues. Il englobe aussi les installations d'entreposage des résidus de même que toutes les infrastructures situées près des cours d'eau, car leurs paramètres de conception sont semblables.

Le débit de pointe est un paramètre important pour plusieurs types d'infrastructure de ce champ. Il s'obtient par différentes méthodes, selon le type d'infrastructure et le degré de spécialisation en ingénierie. L'intervalle de récurrence des débits de pointe varie en fonction des conséquences possibles d'une défaillance complète. Par exemple, il est généralement de 100 ans pour les ponceaux au

Nouveau-Brunswick, alors qu'il tend à être bien plus long pour les déversoirs (gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017).

Diverses méthodes fournissent le débit de pointe : analyse statistique des débitmètres à proximité, relations paramétriques (p. ex. méthode rationnelle), méthode des numéros de courbes (NC) de ruissellement et modèles hydrologiques ou de ruissellement. Les valeurs ainsi obtenues peuvent être directement utilisées pour la conception d'infrastructures simples comme de petits ponceaux. Pour les conceptions plus complexes, les ingénieurs ont recours à des modèles hydrauliques, par exemple pour évaluer le niveau d'eau en cas de crue et ainsi délimiter les zones inondables. Ces modèles facilitent aussi la conception de réseaux d'égouts, puisqu'ils donnent de l'information sur le débit interne si le débit de pointe est atteint à de multiples points d'entrée.

Le calcul du débit de pointe nécessite des données météorologiques. Plusieurs des méthodes nommées ci-haut se fondent sur des courbes IDF, y compris les modèles hydrologiques et de ruissellement, qui peuvent également être basés sur d'autres données. En général, il est possible d'étalonner le modèle avec les données sur les précipitations, la neige et le débit fluvial observés. Ensuite, pour connaître le débit de pointe, les ingénieurs exécutent des scénarios de précipitation en fonction de diverses sources, comme des données observées, des données de précipitation synthétique ou des données radar.

Les normes et les pratiques exemplaires dans ce champ d'activité diffèrent selon les provinces et les territoires. En Ontario et au Québec, par exemple, les égouts sont conçus en fonction des courbes IDF, qui sont insérées dans les équations paramétriques ou les modèles de ruissellement pour déterminer le débit de pointe. En Ontario, il faut contrôler la conception de base des réseaux à l'aide de tempêtes historiques, comme le violent ouragan Hazel qui a frappé la région du Grand Toronto en 1954. Cette étape n'est pas obligatoire au Québec.

La conception des infrastructures dans ce champ d'activité repose également sur d'autres paramètres liés au climat. Entre autres, la mesure des faibles débits est importante pour la conception des prises d'eau des systèmes d'approvisionnement en eau, et les vents entrent dans les calculs de hauteur des vagues et des seiches (vents forts et constants qui causent une dénivellation dans un plan d'eau), calculs nécessaires à la sécurité des barrages, des digues et des installations d'entreposage des résidus.

Infrastructures côtières et dans les océans

Ce champ d'activité comprend les infrastructures côtières, comme les ports et les structures de protection contre l'érosion des villes côtières, de même que les structures situées dans les océans, comme les digues à la mer et les plateformes de forage.

La conception de ces structures repose sur plusieurs paramètres, concernant entre autres les niveaux d'eau, les cycles de marée, les ondes de tempête, les vagues, les courants et les vents. Les renseignements disponibles sur ces variables sont peu abondants et propres à chaque emplacement. Les ingénieurs se servent donc de produits climatiques élaborés pour obtenir des renseignements sur les paramètres climatiques.

Par exemple, on utilise des modèles numériques étalonnés avec des marégraphes pour obtenir des données sur les niveaux d'eau, les ondes de tempêtes et les vagues à proximité des côtes.

Les ingénieurs utilisent aussi des produits de simulation rétrospective, par exemple le modèle MSC50 d'ECCC, qui a généré de l'information sur les vagues et les vents de la côte atlantique canadienne pour les 60 dernières années. Les organisations du secteur pétrolier et gazier se servent de modèles climatiques régionaux obtenus par ce procédé pour leurs installations côtières et leurs plateformes de forage. La simulation rétrospective fournit des ensembles de données historiques synthétiques à haute

résolution pour de nombreuses variables. Les sociétés pétrolières et gazières utilisent aussi de vastes ensembles de données de simulation rétrospective, et exécutent parfois le même modèle dix mille fois afin d'évaluer le mieux possible le risque de cyclone tropical (Met Office 2017).

Infrastructures de transport

Ce champ d'activité comprend toutes les infrastructures associées au transport de personnes, notamment les chemins, les routes et les systèmes ferroviaires, ainsi qu'à d'autres types de transport, comme les pipelines et les réseaux électriques.

Il arrive que les ingénieurs se servent de paramètres de conception relatifs au climat, qui sont cependant basés sur des pratiques établies, sans lien avec les données climatiques; par exemple, pour évaluer la dilatation des voies ferrées et prévenir le flambage en cas de vague de chaleur, on privilégie au Canada une température de 32,2 °C. Bien sûr, les températures des voies dépendent des températures ambiantes, qui varient d'un bout à l'autre du Canada, mais les pratiques exemplaires montrent qu'une température de 32,2 °C convient pour tout le pays. Dans les pays plus chauds, on utilise des températures plus élevées, par exemple 37,8 °C en Caroline du Sud.

b) Réponse à de nombreux besoins

Les valeurs des paramètres de conception relatifs au climat servent à assurer la sécurité des personnes. Il est également possible de les modifier pour intégrer des facteurs économiques, esthétiques ou de confort. Par exemple, même si un code du bâtiment établit un degré d'isolation minimal, un client pourrait désirer une meilleure isolation pour réduire les coûts de chauffage et de climatisation. Habituellement, les ingénieurs effectueront une analyse comparée du scénario de base avec isolation minimale et du scénario avec une meilleure isolation pour déterminer les avantages et les coûts de chaque option (AME Group 2017).

c) Prise en compte de l'incertitude

Étant donné que l'incertitude sur les paramètres de conception relatifs au climat n'est pas toujours transmise, les ingénieurs ne se servent habituellement pas de cette information, dont disposent les fournisseurs de données climatiques.

Donnant priorité à la sécurité, les ingénieurs tiennent compte de l'incertitude découlant de tous les paramètres d'une conception. Ils traitent généralement l'incertitude sur le climat futur de la même façon que les incertitudes sur d'autres facteurs, comme la résistance structurale des matériaux de construction. Dans bien des cas, le degré d'incertitude est fixé d'avance, comme c'est le cas pour les facteurs de sécurité de l'ensemble des charges entrant dans la conception d'un bâtiment ou d'une structure.

Les ingénieurs peuvent également tenir compte de l'incertitude climatique en augmentant les valeurs liées aux facteurs de sécurité. Étant responsables de la conception des infrastructures, ceux-ci sont en général prudents et préfèrent les valeurs de sécurité les plus élevées possible. Certains établissent les facteurs de sécurité appropriés en évaluant le risque d'erreur dans les paramètres climatiques.

Cependant, des facteurs de sécurité plus sévères signifient aussi des coûts plus élevés, ce qui joue sur la prise de décisions. Ainsi, l'amélioration de la sécurité d'une installation pourrait nécessiter d'accroître la solidité des poutres, la largeur des déversoirs ou la taille des conduites. Cela dit, il est parfois possible de trouver des solutions qui n'augmentent pas les coûts.

Si on prévoit d'importantes hausses de coûts pour un certain projet, une analyse coûts-bénéfices permet d'évaluer le coût d'adaptation par rapport à celui de l'inaction (paragraphe 6.3.3.c).

Un autre outil utile aux ingénieurs est l'analyse de sensibilité, qui permet d'évaluer l'incidence de l'incertitude dans les paramètres de conception, notamment ceux liés au climat. Cette analyse peut être faite à plusieurs étapes de la conception et permet d'assurer la sécurité et la performance.

6.2.2 PRISE EN COMPTE DE L'INFORMATION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

a) Durée de vie utile et type d'infrastructure

La durée de vie utile varie considérablement selon le type d'infrastructure, comme le montre le tableau 6-2. Il est important d'en tenir compte pour l'intégration des facteurs liés aux changements climatiques dans les normes et les codes relatifs aux infrastructures. Ainsi, pour les infrastructures à courte durée de vie utile (10 à 20 ans), il n'est pas absolument nécessaire d'incorporer les signaux de changement climatique; il suffit d'utiliser l'information climatique récente, qui ne changera pas beaucoup au cours de la vie utile. Pour les infrastructures qui dureront de 30 à 40 ans, il est pertinent de tenir compte des changements climatiques, sans qu'il soit essentiel d'envisager plusieurs scénarios; les tendances générales conviendront (Charron 2016). Pour les infrastructures à durée de vie utile de plus de 40 ans, il faut cependant tenir compte des signaux de changement climatique en intégrant de nombreux scénarios.

Tableau 6-2 Durée de vie utile et durée après la fin de vie utile de plusieurs types d'infrastructure au Canada (compilées à partir d'entrevues téléphoniques)

Champ d'activité	Type d'infrastructure	Durée de vie utile	Durée après la fin de vie utile*
Bâtiments et structures	Système CVCA	De 15 à 20 ans	S.O.
	Hôpital	Plus de 100 ans	S.O.
	Pont	80 ans	S.O.
	Centrale électronucléaire	Plus de 100 ans	S.O.
Infrastructures de ressources en eau et installations d'entreposage des résidus	Installation d'entreposage des résidus	De 10 à 20 ans	Infinie
Infrastructures côtières et dans les océans	Port	De 30 à 50 ans	S.O.
Infrastructures de transport	Voie ferrée	Plus de 100 ans	S.O.

* Certains types d'infrastructure, comme les installations d'entreposage des résidus, demeurent en place après la fin de leur exploitation, à la fin de leur vie utile.

b) Cas où les données climatiques ne sont pas nécessaires

Comme indiqué au paragraphe 6.2.1a, *Infrastructures de transport*, certains paramètres de conception relatifs au climat se fondent sur des pratiques établies et n'ont aucun lien avec les données climatiques.

C'est le cas pour les températures privilégiées dans la conception de voies ferrées, des paramètres que les ingénieurs ont parfois de la difficulté à ajuster en fonction des données climatiques; par exemple, Metrolinx (2017) a fait passer sa température idéale de pose de rails de 32,2 °C à 37,8 °C pour tenir compte des températures croissantes, adoptant ainsi la norme appliquée en Caroline du Sud, où le climat actuel est plus chaud. Certes, cette décision entraîne des désavantages, comme le risque de fissures dans les rails par temps froid, mais Metrolinx s'appuie sur des données montrant que le nombre de jours froids diminuera considérablement et est convaincu de la justesse de sa nouvelle norme.

Un autre exemple vient du Bureau de normalisation du Québec (BNQ), qui a récemment publié une norme visant à lutter contre les îlots de chaleurs dans les zones fortement peuplées, un phénomène qui devrait s'aggraver avec l'évolution du climat. La norme préconise des matériaux ayant un indice de réflectance solaire élevé, qui réduiront l'absorption de chaleur (BNQ 2017).

c) Gestion de l'incertitude

Pour les ingénieurs, l'incertitude inhérente aux prévisions relatives aux changements climatiques est déconcertante par rapport à ce à quoi ils sont habitués. En effet, la plage d'incertitude pour une analyse de sensibilité effectuée sur un indicateur climatique basé sur les précipitations futures peut varier entre -5 et +200 pour cent (CBCL 2017). Voilà qui complique grandement la prise de décisions.

L'incertitude sur les changements climatiques est le cumul d'une multitude d'incertitudes provenant de sources diverses : scénarios d'émission de GES, formulation des modèles climatiques, méthode de réduction d'échelle et de correction de biais, variabilité naturelle et modèles d'impacts. Pour réduire l'éventail de prévisions et faciliter la prise de décisions, des ingénieurs et des organisations utilisent des hypothèses simplifiées. Le texte ci-dessous présente deux approches suivies par les ingénieurs pour amoindrir l'incertitude, soit la sélection d'un seul profil représentatif d'évolution de concentration (RCP) ou d'un ensemble de modèles. D'autres approches font l'objet des paragraphes 6.2.2e à 6.2.2g.

Sélection d'un profil représentatif d'évolution de concentration et de modèles climatiques

Il arrive que les organisations et les ingénieurs choisissent un seul profil représentatif d'évolution de concentration (RCP) et un ensemble de modèles climatiques. Plusieurs raisons sous-tendent une telle décision : principes de l'organisation, degré de tolérance au risque, budget pour la conception de projet et la construction, tendances récentes des émissions de carbone et type d'infrastructure. Les hypothèses RCP8.5 et RCP4.5 sont les plus courantes. Des ingénieurs disent se servir de l'hypothèse RCP2.6 pour avoir une idée du résultat possible des mesures d'atténuation des GES. Certains utilisent seulement une poignée de modèles climatiques parmi tous ceux disponibles (Met Office 2017; Amec Foster Wheeler 2017).

Notons que la pratique consistant à choisir un seul RCP et un ensemble de modèles climatiques n'est pas considérée comme exemplaire, car elle sous-estime les risques liés aux changements climatiques. Elle ne diminue pas l'incertitude sur les prévisions climatiques, elle ne fait que la cacher. Malgré tout, des organisations et des ingénieurs y recourent actuellement parce qu'elle :

- réduit le coût de l'analyse climatique;
- simplifie la conception (plus facile d'envisager un scénario unique);
- facilite les discussions avec les clients et la haute direction.

d) Ajustement de la conception selon l'information climatique

Utilisation d'un scénario unique

Pour prendre en compte les changements climatiques dans la conception d'infrastructures, il est possible d'ajouter un facteur de sécurité au paramètre de conception historique. Ce facteur est choisi selon des résultats provenant de sources publiées, le type d'infrastructure et les discussions internes sur les principes et la tolérance aux risques et aux dépenses de l'organisation.

Au Canada, les ingénieurs adoptent cette approche pour tenir compte des précipitations extrêmes, dont la fréquence et l'intensité sont appelées à augmenter. Ils appliquent à la courbe IDF un facteur de sécurité déterminé en fonction des travaux publiés comme Mailhot et coll. (2012). Toutefois, les sources rapportent des résultats différents selon la région, l'intervalle de récurrence, le scénario de changements climatiques et d'autres facteurs. La plupart des organisations se fient à leur jugement et fixent un seul facteur de sécurité pour toutes leurs conceptions, facteur compris entre 10 et 39 pour cent (gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017). Par exemple, la Ville de Montréal (2017) a haussé de dix pour cent le facteur de sécurité de réseaux d'égouts locaux. Cependant, elle n'appliquera pas ce facteur aux projets de grands égouts (collecteurs), parce que les phénomènes générant des précipitations extrêmes (les cellules de convection observées en été) sont généralement plus petits que la zone de drainage des collecteurs. La Ville a entamé des recherches pour vérifier cette hypothèse et mis en place un système de gestion d'égouts en temps réel qui supporte le risque résiduel (paragraphe 6.2.2g).

Un autre facteur de sécurité concerne la hausse du niveau de la mer. Les ingénieurs se réfèrent aux taux d'élévation du niveau de la mer établis dans les publications scientifiques. Ils prennent en compte les hauteurs antérieures, auxquelles ils ajoutent des marges de sécurité correspondant aux taux d'élévation du niveau de la mer et à la durée de vie prévue de l'infrastructure (gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017).

Les ingénieurs peuvent aussi examiner le pire scénario pour amorcer une discussion avec leur client ou évaluer le besoin d'analyse plus approfondie. Par exemple, les bâtiments passifs n'ont pas besoin des systèmes CVCA conventionnels, car leur ventilation tire parti des conditions naturelles et nécessite une quantité minimale d'énergie. Cependant, une hausse de température modifierait considérablement le degré de confort à l'intérieur du bâtiment. En abordant la pire éventualité avec leur client, les ingénieurs ouvrent une discussion sur le degré de confort qu'offrira le bâtiment. Même si cela n'entraîne pas de modifications à la conception, le client sera mieux informé sur cet enjeu (AME Group 2017).

Utilisation de multiples scénarios

Les ingénieurs se servent aujourd'hui de nombreux scénarios climatiques pour la conception, la plupart du temps sous forme d'une analyse de sensibilité. Par exemple, les concepteurs de réseaux d'égouts établissent les courbes IDF d'un point précis en se basant sur plusieurs scénarios d'émissions et modèles climatiques. Dans les modèles numériques, ils substituent toutes les futures valeurs d'intensité, de durée et de fréquence aux valeurs historiques, générant ainsi de multiples possibilités de débits de pointe et de performance du réseau. Devant tous ces scénarios possibles, les ingénieurs doivent faire appel à leur jugement pour déterminer s'il faut modifier la conception pour tenir pleinement compte de l'ensemble des conditions possibles (Amec Foster Wheeler 2017; CBCL 2017; Met Office 2017).

Parfois, les ingénieurs prédétermineront les scénarios devant faire l'objet d'une simulation afin de réduire les besoins en ressources humaines et en temps de calcul. Certains ont notamment précisé se servir des scénarios médians et moyens de deux méthodes distinctes pour obtenir les prévisions des précipitations (Met Office 2017; CBCL 2017).

e) Approche axée sur le risque

Les ingénieurs canadiens ont commencé à suivre une approche axée sur le risque pour évaluer la vulnérabilité des infrastructures aux épisodes extrêmes et aux changements climatiques. Le Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) a d'ailleurs élaboré un protocole qui « permet de réaliser un examen systématique des données climatiques historiques et de faire des projections sur la nature, la gravité et la probabilité d'événements et de changements climatiques futurs, ainsi que d'évaluer la capacité d'adaptation d'une infrastructure en fonction de sa conception, de son exploitation et de son entretien. Le protocole comprend aussi une estimation de la gravité des impacts climatiques sur les composantes de l'infrastructure (c.-à-d. leur détérioration, leur endommagement ou leur destruction) afin que l'on puisse déterminer les composantes présentant le plus de risques et la nature des menaces posées par l'impact du changement climatique. On peut se servir de cette information pour poser des jugements techniques éclairés sur les composantes qui doivent être adaptées ainsi que la façon de le faire, p. ex. par des ajustements conceptuels ou la modification des procédures d'exploitation ou d'entretien » (CVIIP 2017).

À ce jour, on a appliqué ce protocole 45 fois au Canada (CVIIP 2017). Les ingénieurs mentionnent s'en servir pour mieux sensibiliser leur organisation aux changements climatiques. Metro Vancouver (2017) a pris part à une évaluation du CVIIP, à propos de laquelle son gestionnaire de projet a déclaré : « C'est un point de départ. Après avoir fini cette analyse, il faut en faire une autre, plus approfondie. »

L'application de ce protocole requiert des données climatiques, qui prennent la forme d'indicateurs climatiques propres à l'infrastructure évaluée. Les indicateurs sont souvent liés à la probabilité de dépassement d'un seuil fixé (p. ex. quelles sont les chances que la température dépasse 40 °C?) Ceux-ci sont calculés selon les lignes directrices du protocole à partir d'information sur le climat passé, présent et futur.

f) Conception évolutive

Lorsque c'est possible, les ingénieurs optent pour une conception évolutive qui facilitera d'éventuelles adaptations aux changements climatiques. Une infrastructure évolutive peut être aisément renouvelée, modifiée ou agrandie. Cette approche présente certains avantages quant à la prise en compte des incertitudes liées aux prévisions climatiques. En effet, plutôt que d'intégrer dès le départ des éléments coûteux d'adaptation en fonction de conditions hypothétiques, on reporte les décisions relatives à l'adaptation à un moment où l'information sera probablement disponible. L'important est de concevoir les infrastructures de façon à ce qu'elles puissent éventuellement incorporer toutes les mesures d'adaptation qui pourraient être requises. Étant donné le report des dépenses relatives à l'adaptation, ces coûts influencent moins la valeur actualisée nette de l'investissement (Amec Foster Wheeler 2017).

g) Gestion des risques résiduels

Une autre stratégie palliant la grande incertitude sur les prévisions climatiques est la gestion des risques résiduels durant la période d'exploitation de l'infrastructure. Elle s'applique dans les cas d'événements extrêmes à récurrence très élevée et lorsqu'il est plus efficace de gérer le fonctionnement de l'infrastructure que de réaliser des projets d'atténuation structurale, et peut être mise en œuvre dans le cadre de protocoles d'urgence.

Voici trois exemples d'application de cette stratégie :

- Une organisation installe des systèmes auxiliaires en cas de panne majeure d'électricité (Metrolinx 2017).

- Lorsqu'on prévoit de la pluie verglaçante, une entreprise de transport fait fonctionner ses tramways en continu pour éviter l'accumulation de glace sur le système à ligne aérienne de contact (Metrolinx 2017).
- La Ville de Montréal gère en temps réel les débits dans ses réseaux d'égouts. Puisque, conformément à la Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales, la Ville doit respecter les normes de performance relatives aux débordements d'égouts, elle s'est dotée d'un système de gestion sophistiqué. C'est d'ailleurs celui-ci qui contrôlera les effets des risques résiduels des précipitations extrêmes (non éliminés par la majoration de dix pour cent des courbes IDF [paragraphe 6.2.2d]) (Ville de Montréal 2017).

6.3 DIFFICULTÉS ET BESOINS RELATIFS À LA PRISE EN COMPTE DE L'INFORMATION CLIMATIQUE DANS LA CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES

6.3.1 DONNÉES CLIMATIQUES

a) Données observées et produits climatiques dérivés

Les ingénieurs interrogés perçoivent depuis les années 1980 une baisse du niveau de service à ECCC. Ils affirment que dans le passé, le ministère contrôlait davantage de données, les rendait disponibles plus rapidement et effectuait plus de recherches pour répondre aux besoins des ingénieurs. De plus, la transition vers les stations météorologiques automatisées s'est soldée en une perte de qualité des estimations de certaines variables, comme le type de précipitations (liquide, solide, pluie verglaçante, grésil) (article 5.4.1).

Au cours des dernières décennies, on a vu beaucoup d'initiatives d'universitaires et de professionnels visant à combler les besoins du milieu du génie en matière de courbes IDF. Les ingénieurs ont donc commencé à recourir à d'autres sources qu'ECCC, celles-ci présentant cependant des degrés de fiabilité variables et des caractéristiques diverses : certaines incorporent des prévisions relatives aux changements climatiques, d'autres pas; certaines utilisent la distribution de Gumbel, d'autres la distribution généralisée des valeurs extrêmes; en l'absence de station de jaugeage, certaines se servent de modèles spatiaux complexes, d'autres se fient à la méthode du plus proche voisin. Coulibaly et coll. (2016), entre autres, ont mené des projets d'intercomparaison des produits IDF à l'échelle régionale. Selon Ingénieurs Canada (2017), une grande confusion règne dans ce domaine, et il est prioritaire de clarifier la nature et l'utilisation des courbes IDF, particulièrement pour les prévisions relatives aux changements climatiques. D'ailleurs, durant l'atelier organisé par le CCN et Ouranos en 2017, les ingénieurs ont classé deuxième sur la liste des priorités l'élaboration d'une norme sur les courbes IDF (CCN et Ouranos 2017).

Un autre problème relevé par les ingénieurs est la faible densité spatiale des stations météorologiques et de jaugeage dans plusieurs régions du pays (CCN et Ouranos 2017). Pour certains projets, ils se basent sur les données de stations « voisines » qui sont en fait à des centaines de kilomètres. Entre autres, les ingénieurs travaillant dans le domaine océanique (paragraphe 6.2.1a) se servent de marégraphes pour l'étalonnage, et il arrive qu'ils utilisent celui situé à Halifax pour des aménagements éloignés de 300 kilomètres. La faible densité spatiale est particulièrement problématique pour les pluviomètres, les marégraphes et les débitmètres fluviaux. Il serait utile d'installer des appareils de mesure dans les bassins hydrographiques d'une superficie inférieure à 50 km², puisque la majorité des stations se trouvent dans les bassins s'étendant sur plus de 700 km² (gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017).

Afin qu'elles soient utiles aux ingénieurs, les stations météorologiques et de jaugeage doivent fonctionner sur de longues périodes et produire des enregistrements stables et continus. La durée minimale de conservation des enregistrements varie selon l'application : au moins 10 ans pour les valeurs moyennes et au moins 20 ans pour les courbes IDF. Si la durée d'enregistrement des stations à proximité est inadéquate pour le calcul des statistiques désirées, les ingénieurs auront tendance à combiner les enregistrements de plusieurs stations.

La résolution temporelle des données climatiques est un autre problème. Les ingénieurs ont besoin que les stations génèrent des enregistrements plusieurs fois par jour pour certaines variables comme les précipitations. Les valeurs extrêmes des précipitations à une échelle pluriquotidienne sont particulièrement importantes pour la conception de réseaux d'alimentation en eau dans les bassins hydrographiques qui présentent des temps de concentration de moins de 24 heures.

Les ingénieurs réclament également plus d'information sur des variables précises, comme le vent, la neige, le rayonnement et la foudre (CCN et Ouranos 2017). Par exemple, le coefficient d'abattement de la pluie, qui fournit des renseignements sur l'envergure des tempêtes, viendrait compléter les courbes IDF. Avec cette information, les ingénieurs seraient davantage en mesure de concevoir les collecteurs pluviaux des zones densément peuplées sans systématiquement surdimensionner l'ensemble des réseaux pour tenir compte des changements climatiques. En outre, des données radar de qualité, facilement accessibles et lisibles, amélioreraient la conception d'infrastructures relatives aux eaux.

Enfin, pour que les ingénieurs soient à l'aise avec les nouveaux produits dérivés des observations, ils doivent pouvoir consulter les métadonnées, comprendre les méthodes de production et vérifier les chiffres. Les ingénieurs aimeraient aussi avoir plus de renseignements sur la façon de se servir des produits climatiques (CCN et Ouranos 2017), comme les données homogénéisées d'ECCC, afin d'être plus en mesure d'en déterminer les utilisations appropriées.

b) Données et ressources sur les changements climatiques

Les ingénieurs disent avoir du mal à trouver des données et des produits adéquats en lien avec les changements climatiques. Les résultats sont publiés dans les journaux scientifiques, mais ne sont pas toujours facilement accessibles aux praticiens. Les ingénieurs s'intéressent aux recherches sur les changements climatiques, mais peuvent difficilement s'appuyer sur elles pour prendre des décisions, car les résultats diffèrent selon les articles (Amec Foster Wheeler 2017). De plus, les publications fournissent de l'information qui n'est pas toujours pertinente pour la région donnée ou la conception d'une infrastructure particulière, et s'appuient parfois sur des méthodes novatrices qui n'ont pas toujours été validées.

Il y a cependant des publications scientifiques qui suscitent la réflexion sur l'intégration du signal de changement climatique dans la conception d'infrastructures; par exemple, l'article de Mailhot et coll. (2012) a été le point de départ d'une discussion de la Ville de Montréal sur l'augmentation de dix pour cent de l'intensité de pluie utilisée dans la conception d'égouts. La Ville poursuit sa collaboration avec Alain Mailhot et Ouranos pour mieux prendre en compte les changements climatiques dans la conception de ses systèmes de drainage.

On a créé de bons produits liés aux changements climatiques pour l'analyse des risques à l'échelle de projets (paragraphe 6.2.2e). Par exemple, le PCIC a fourni un jeu d'indicateurs climatiques pour l'évaluation du CVIIP portant sur Metro Vancouver, et RSI offre un libre accès à son portail sur le climat, ce qui a suscité l'intérêt de Metrolinx. Cependant, à l'exception de ces quelques exemples, le genre d'information disponible sur les changements climatiques ne satisfait pas les besoins des ingénieurs en matière de conception d'infrastructures. Il en va de même aux États-Unis : « L'une des principales

difficultés est de comprendre comment évolueront les événements météorologiques dont se sert le génie civil, c'est-à-dire la fréquence, la durée et l'intensité des changements climatiques. Si plusieurs approches permettant de transposer les résultats des modèles climatiques mondiaux à une échelle pertinente pour les ingénieurs ont été étudiées, on n'a pas encore bien démontré comment convertir ces renseignements en prévisions sur les phénomènes météorologiques à l'échelle des projets » (Olsen 2015).

Le type d'indicateur, la représentation graphique et la résolution des produits climatiques doivent être adaptés pour les ingénieurs. Bien que la plupart du temps, les moyennes annuelles soient largement diffusées, elles ne leur sont pas toujours utiles. Ils ont plutôt besoin d'information sur les précipitations extrêmes et sur les vitesses et l'orientation du vent, ainsi que d'indicateurs assortis de seuils (p. ex. le nombre de jours où la température dépasse 40 °C), et d'autres encore. La représentation graphique est aussi importante. Certains ingénieurs ne s'intéressent qu'à une valeur, d'autres veulent connaître les plages d'incertitude. Pour ce qui est de la résolution spatiale, les besoins ne sont pas uniformes. Certains ingénieurs préfèrent que des cartes à haute résolution accompagnent chaque indicateur, alors que d'autres considèrent qu'elles ne sont pas nécessaires, en raison des grandes différences régionales en matière de changements climatiques.

Comme mentionné à la section 5.3, bien des ingénieurs estiment que les modèles climatiques sont des boîtes noires et souhaitent être conseillés sur leur utilisation adéquate. Le guide rédigé par I. Charron (2016) pourrait inspirer davantage confiance dans les prévisions des modèles climatiques. Dans certains cas, les connaissances ne sont pas assez développées pour combler les besoins des ingénieurs (p. ex. données à haute résolution, données horaires sur les modèles climatiques, données sur les vagues, etc.).

Durant les deux dernières décennies, plusieurs ressources et services ont vu le jour pour combler les besoins de données sur les changements climatiques. Ainsi, ECCC, Ouranos, le PCIC, RSI, l'OCC, Amec Foster Wheeler et diverses sociétés d'experts-conseils offrent des services relatifs aux changements climatiques. En outre, depuis quelques années, on trouve gratuitement sur Internet de plus en plus de scénarios, de données et de modèles liés aux changements climatiques, ainsi que de méthodes de réduction d'échelle et de correction de biais. Il n'existe cependant aucune autorité centrale pour aider les ingénieurs à déterminer quelles sont les sources sûres, où trouver les données et lesquelles utiliser. Des ingénieurs et des organisations ont noué une collaboration étroite avec des fournisseurs de services comme le PCIC (Metro Vancouver et BC Hydro) ou Ouranos (Hydro-Québec et Manitoba Hydro). Ces relations améliorent grandement la confiance des ingénieurs dans les fournisseurs de données climatiques, puisqu'ils participent à la production des données dont ils ont besoin. Une fois ces liens établis, les ingénieurs peuvent s'attaquer aux limites posées par l'état des connaissances scientifiques. Il est cependant impossible d'étendre ce modèle de collaboration à grande échelle pour l'appliquer à tous les ingénieurs-conseils travaillant à la conception d'infrastructures. Il est donc nécessaire de fournir des orientations et des données aux paliers national et provincial ou territorial. Les ingénieurs ont suggéré que des normes climatiques nationales ou provinciales et territoriales soient élaborées. Ingénieurs Canada (2017) affirme que « coordonner les indicateurs et les seuils liés au climat serait un immense pas en avant pour la production d'ensembles de données normalisés à l'échelle du pays ou d'une province ». D'ailleurs, on cite souvent en exemple la norme climatique de l'ASHRAE sur le chauffage et la ventilation.

Au demeurant, Ingénieurs Canada (2017) souligne que « c'est la fiabilité qui importe, pas la précision. » Pour la conception, les ingénieurs n'ont pas besoin de valeurs avec décimales, mais d'une représentation exacte des conditions météorologiques futures selon les meilleures connaissances scientifiques actuelles. Il leur serait d'ailleurs profitable de développer, à l'égard de l'information sur les changements climatiques, un degré de confiance comparable à celui des climatologues (article 5.4.2).

c) Accès aux données et extraction de données

Les ingénieurs concepteurs interrogés s'entendent pour dire que les données d'ECCC peuvent être difficiles à obtenir (CBCL 2017). Selon les représentants d'ECCC, le volume de données est énorme, et donc problématique à diffuser. ECCC les publie dans son dépôt de données, qui n'est cependant ni bien connu ni convivial. Les ingénieurs trouvent notamment ardu d'obtenir les niveaux d'eau associés aux débits fluviaux et d'accéder rapidement aux données radar.

Un autre problème est le temps nécessaire pour récolter les données, qui sont offertes par de nombreuses organisations de nature variée. Par exemple, à la suite d'une grosse tempête dans la région de Toronto, il a fallu huit semaines aux ingénieurs pour recueillir les données de 60 pluviomètres appartenant à diverses organisations (Amec Foster Wheeler 2017). Il arrive aussi que des données soient enregistrées, mais que peu de personnes soient au courant. Par exemple, The Weather Network possède un système qui surveille les températures ambiantes et des chaussées ainsi que les points de rosée pour une entreprise d'entretien de l'Ontario. Ces données pourraient servir aux scientifiques et aux ingénieurs s'ils connaissaient leur existence.

L'extraction des données et la création de produits peuvent demander beaucoup de temps. Pour certains systèmes, il faut extraire les données pour chaque point plutôt que pour l'ensemble de la région (CBCL 2017). Lorsque l'extraction par région est possible, elle demande des compétences en programmation. Ce problème est particulièrement important pour les prévisions relatives aux changements climatiques. L'extraction et la manipulation des données sont très chronophages pour les consultants, ce qui peut entraîner une réduction du nombre de scénarios climatiques et de modèles climatiques pour les études d'impact que l'on crée.

6.3.2 DIFFICULTÉS D'ORDRE TECHNIQUE POUR LES INGÉNIEURS

a) Prise de décisions et incertitude

L'incertitude liée aux changements climatiques représente un défi. Les méthodes traditionnelles de gestion de l'incertitude ne peuvent plus s'appliquer directement, car les plages d'incertitude sont aujourd'hui beaucoup plus grandes (CCN et Ouranos 2017). L'incorporation de l'ensemble de l'incertitude par des facteurs de sécurité pourrait entraîner le surdimensionnement de toutes les infrastructures et des coûts élevés pour les organisations et la société.

Il serait peut-être plus sécuritaire de concevoir systématiquement les infrastructures en fonction du pire scénario (émissions les plus importantes et sensibilité maximale du climat aux GES), mais cela pourrait gonfler grandement les coûts des projets. D'un autre côté, concevoir les infrastructures selon un climat stable les expose à un risque accru et à des coûts potentiellement considérables si une réfection devient nécessaire plus tard. Les ingénieurs doivent se servir de paramètres de conception qui équilibrent les coûts d'atténuation des risques par l'adaptation et ceux des conséquences possibles en cas de défaillance.

Les ingénieurs utilisent plusieurs méthodes de gestion de l'incertitude liée aux paramètres climatiques : analyses de sensibilité et prise en compte de facteurs de sécurité (paragraphe 6.2.2.d), approche axée sur les risques (paragraphe 6.2.2.e), principes de conception évolutive (paragraphe 6.2.2.f) et gestion des risques résiduels durant la période d'exploitation (paragraphe 6.2.2.g). La science de la décision propose également divers moyens pour incorporer l'incertitude, comme l'approche efficace de la prise de décisions (Robust Decision-Making Approach) (Kalra et coll. 2014).

À l'heure actuelle, c'est le client ou l'ingénieur qui décide de l'approche, en se basant souvent sur son intuition. Quelques règlements pertinents ont vu le jour, tel le bulletin d'information technique sur les

changements climatiques du ministère des Transports et des Infrastructures de la Colombie-Britannique (2015). Toutefois, les ingénieurs trouvent les règlements plutôt vagues et préféreraient une approche normative qui établirait clairement quels sont les types appropriés d'évaluation des changements climatiques.

Enfin, des solutions comme le protocole du CVIIP et l'approche efficace de la prise de décision ne conviennent pas aux petits projets. Il faut tenir compte de l'évolution du climat pour des projets de toutes tailles, ce qui nécessitera probablement des méthodes variées.

Réduction de l'incertitude

Comme mentionné au paragraphe 6.2.2c, les ingénieurs et les organisations formulent des hypothèses pour gérer l'incertitude climatique. Selon les personnes interrogées, le choix d'un RCP est l'étape la plus difficile d'une analyse des changements climatiques, puisqu'il fait appel aux valeurs personnelles et se base davantage sur un avenir socioéconomique plausible que sur des certitudes scientifiques.

Des ingénieurs soulignent que l'industrie ne peut employer les mêmes méthodes que le milieu universitaire pour gérer l'incertitude, car elle manque de temps et de ressources (paragraphe 6.3.3b). D'après les pratiques exemplaires, les études d'impact devraient examiner tous les RCP et modèles climatiques disponibles. Le choix d'un scénario à faibles émissions au début d'une étude peut mener à la sous-estimation des risques, alors que celui d'un scénario à fortes émissions peut entraîner le surdimensionnement de l'infrastructure. Le choix des modèles climatiques peut également fausser les estimations des risques. Ouranos (Casajus et coll. 2016) et le PCIC se servent de méthodes de groupement pour diminuer le nombre de simulations requises tout en couvrant la majeure partie de l'incertitude.

Il serait important de fixer une méthode à suivre pour évaluer les conséquences des changements climatiques sur les infrastructures. Cette méthode doit être pratique pour les ingénieurs et acceptable pour les scientifiques.

Types de décisions

Après avoir mené des analyses de sensibilité selon des paramètres climatiques issus de multiples modèles climatiques et RCP, les ingénieurs ont deux types de décisions à prendre.

Le premier type se présente lorsque la prise en compte de l'incertitude ou du pire scénario ne nécessite que de petits changements à la conception de base. Par exemple, sur les terrains en pente raide, les zones inondables ne devraient pas beaucoup changer même si on prévoit une augmentation des débits de pointe. Dans d'autres cas, le pire scénario demande simplement d'augmenter la taille des conduites ou de la revanche, ou d'ajouter un bassin de contrôle. Ces modifications sont peu coûteuses et assez simples à justifier et à intégrer.

En revanche, le deuxième type de décisions survient lorsque la prise en compte de l'incertitude ou du pire scénario nécessite de nombreux changements à la conception de base, ou même sa révision complète, ce qui entraîne habituellement d'importants coûts supplémentaires. Dans ces cas, il sera difficile pour les ingénieurs de prendre des décisions, et ils pourraient alors adopter d'autres stratégies, comme de privilégier l'approche axée sur les risques, les principes de conception évolutive ou la gestion des risques résiduels par des protocoles d'urgence. Mais ces situations demeurent problématiques.

Méthodes et outils actuels

Les ingénieurs signalent que leurs outils et les méthodes actuelles ne sont pas adaptés à la prise en charge d'aussi grandes incertitudes. Par exemple, même si les modèles numériques servant à estimer les

débites de pointe des égouts peuvent exécuter de multiples scénarios, ils requièrent tous des données discrètes sur les précipitations. Il serait utile de pouvoir les alimenter grâce à une fonction de distribution de probabilité.

Absence de méthodes consensuelles

Les ingénieurs conviennent que l'établissement d'une méthode d'incorporation des changements climatiques à la conception d'infrastructures serait un progrès important. Certains souhaitent une approche normative, d'autres non. Certains ont étudié les lignes directrices et les pratiques exemplaires du domaine, mais les trouvent difficiles à normaliser. Les ingénieurs insistent sur le fait que la méthode doit tenir compte du cycle de vie des infrastructures.

Le ministère des Transports et des Infrastructures de la Colombie-Britannique a publié un bulletin d'information technique sur l'intégration des changements climatiques à la conception d'infrastructures. Ce document donne une orientation générale aux promoteurs de projets d'immobilisation et aiguille les experts-conseils vers les ressources pertinentes et les fournisseurs de données climatiques. C'est l'une des premières initiatives du genre au pays, et les ingénieurs souhaitent en voir davantage.

b) Points de bascule

Les seuils naturels, ou points de bascule, constituent un défi de taille pour les ingénieurs (gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017). Ils prennent diverses formes, comme celle d'un événement extrême qui bouleverse le comportement normal d'un système. Prenons l'exemple d'une tempête centennale qui élèverait le débit dans un cours d'eau, ce qui causerait l'érosion des rives et des déracinements d'arbres. Entraînés par le courant, les arbres obstrueraient ensuite un ponceau, causant un débordement qui détruirait une route. C'est le point de bascule qui cause l'arrachement des arbres, le blocage du ponceau et le ravage de la route. Que le ponceau ait été conçu en fonction d'une tempête à récurrence de 200 ans n'y changerait rien.

Ces types de seuils naturels existaient lorsque les conditions étaient relativement stables et demeureront avec l'évolution du climat. La surconception des infrastructures en prévision des futurs changements climatiques est peut-être une partie de la solution, mais, comme le montre l'exemple ci-dessus, il reste toujours des risques résiduels à prendre en compte.

c) Interdépendances

Les interdépendances entre les réseaux posent également problème, non seulement aux ingénieurs, mais aussi, entre autres, aux urbanistes et aux responsables de la sécurité publique. Par exemple, après une tempête, la capacité d'une ligne de chemin de fer à offrir un service sans retard dépend fortement de la capacité du service d'électricité à fournir la puissance adéquate. De ce fait, il peut être plus difficile pour les ingénieurs d'effectuer une analyse de rentabilité de l'adaptation, puisque la performance de leurs mesures d'adaptation dépend d'actions d'autres intervenants. Dans certains cas, l'interdépendance des réseaux fait en sorte qu'on doit moderniser le système entier pour retirer les avantages potentiels de l'adaptation (voir l'exemple au paragraphe 6.3.3c) (Metrolinx 2017).

6.3.3 AUTRES DIFFICULTÉS POUR LES INGÉNIEURS

a) Expérience

La question des changements climatiques est relativement nouvelle dans le milieu du génie. Au Canada, peu de personnes, y compris parmi les ingénieurs, sont capables de bien utiliser l'information et les données sur les changements climatiques (Metrolinx 2017). Certains ingénieurs se familiarisent

maintenant avec les modèles climatiques et les considèrent comme des outils sophistiqués, mais imparfaits. Ces personnes ne remettent cependant pas en question les prévisions des modèles ou les connaissances sur les changements climatiques (Metro Vancouver 2017; Amec Foster Wheeler 2017; AME Group 2017; CBCL 2017).

Afin de satisfaire à leurs besoins, les ingénieurs-conseils commencent à former des équipes. De plus, des organisations créent des postes requérant des compétences dans le domaine de l'adaptation et de la résilience (Metrolinx 2017).

b) Temps et budget

Dans bien des cas, c'est le temps et le budget qui décident de l'exhaustivité de l'analyse des changements climatiques. Une équipe de conception dotée d'un petit budget pourrait être obligée de se servir de données existantes, même si elles ne sont pas adéquates pour la tâche prévue, et même s'il ne s'agit pas d'une pratique exemplaire. Lorsque des analyses particulières de modèles climatiques sont nécessaires, un petit budget peut signifier la prise en compte d'un seul modèle climatique ou scénario d'émissions. En ce qui concerne la conception, un budget important permet la prise en compte de nombreux paramètres, en plus du modèle numérique de l'ingénieur.

c) Avantages imprécis ou différés

Pour de nombreux ingénieurs, les avantages de l'adaptation aux changements climatiques sont plutôt flous. « Pour justifier le coût économique de l'adaptation, il faut pouvoir estimer le coût de l'inaction » (Metrolinx 2017). Ces estimations sont ardues à réaliser. Néanmoins, des exemples ont vu le jour ces dernières années (Circé et coll. 2016).

Le fait que les avantages de l'adaptation ne se manifestent pas rapidement est encore plus problématique. Par exemple, il est possible que Metrolinx ne constate les avantages liés à l'augmentation de la température idéale de pose que lorsque tout le réseau de rails aura été remplacé. Puisqu'au sein des organisations, un grand nombre de projets et de besoins se font concurrence et que le temps et les ressources sont limités, il peut être tentant pour celles-ci d'accorder la priorité aux investissements donnant des résultats à court terme.

d) Responsabilité

Pour les ingénieurs, il est important que les données climatiques proviennent de sources faisant autorité. Il leur faut de l'information reconnue dans leur champ d'activité et défendable sur le plan scientifique, car ils sont responsables de la conception. Dans le milieu du génie, on présume généralement que l'information utilisée était la meilleure disponible au moment de la conception. Les scientifiques qui fournissent les renseignements ont une obligation morale d'en divulguer les limites, et leurs responsabilités légales ont à quelques reprises été examinées par les tribunaux (Ingénieurs Canada 2017a).

Cette situation crée une asymétrie : les ingénieurs sont plus prudents avec les nouvelles méthodes ou données qui ne correspondent pas aux résultats historiques. D'un point de vue pragmatique, il leur faut pouvoir au besoin justifier leurs choix devant un tribunal. Un ingénieur a suggéré un parallèle entre « la rareté des données pour la conception » et « l'intégration des changements climatiques à la conception ». Considérons par exemple un projet particulier pour lequel les données météorologiques et climatiques ne seraient pas disponibles. Deux grandes options permettent de contourner ce problème : l'utilisation des données de la station la plus près, et l'estimation des données par des algorithmes. Le premier choix peut s'avérer inadéquat en ce qui concerne la précision si la station en question est éloignée, et ne crée pas de nouvelles données; il tire seulement profit de ce qui existe déjà.

Le deuxième choix, bien qu'il puisse fournir de meilleures données pour le site sans instruments de mesure, exige de sélectionner une méthode qui pourrait ensuite être contestée en justice. Il faut noter que l'intégration de l'évolution du climat dans les données météorologiques et climatiques pourrait être difficile à défendre en cour, parce qu'elle repose sur un choix de méthode, ce qui peut entraîner des résultats divergents. Par conséquent, il est possible que des témoins experts arrivent à des conclusions différentes. Des ingénieurs interrogés ont soulevé ce problème lié à la responsabilité en insistant sur le besoin d'approches juridiques adaptées à l'inclusion de l'information sur les changements climatiques à la conception d'infrastructures.

7 OBSTACLES ET RECOMMANDATIONS

L'intégration de l'information sur les changements climatiques à la conception d'infrastructures est jalonnée de nombreux problèmes. Ce chapitre dresse la liste des obstacles à la prise en compte efficace des changements climatiques dans la conception, la construction et l'entretien des infrastructures, et formule des recommandations pour les éliminer. Il faut noter que, puisque chaque champ d'activité se sert de méthodes de conception qui lui sont propres, chacun devra tenir compte de l'information sur les changements climatiques de manière particulière.

7.1 OBSTACLES

7.1.1 ÉDUCATION

Il a été souligné qu'une meilleure éducation sera nécessaire pour favoriser l'incorporation de l'information sur les changements climatiques au processus de conception (CCN et Ouranos 2017). Un plus grand nombre de directives éducatives officielles et d'occasions de formation continue portant sur la science du climat seraient donc utiles aux ingénieurs (CCN et Ouranos 2017). Des spécialistes du génie ont signalé que les connaissances sur les changements climatiques étaient à peu près inexistantes dans les facultés d'ingénierie (CCN et Ouranos 2017). Ingénieurs Canada, par exemple, pourrait encourager l'ajout de cours sur ce sujet dans les programmes de génie.

7.1.2 VOCABULAIRE COMMUN POUR LES SCIENTIFIQUES, LES INGÉNIEURS ET LES INTERVENANTS

Les personnes interrogées ont évoqué la difficulté d'établir un vocabulaire commun pour les scientifiques, les ingénieurs et les intervenants (CCN et Ouranos 2017). La signification d'un mot peut varier d'une discipline à l'autre, ce qui occasionne des malentendus et nuit à la collaboration. Les fournisseurs de services jouent ici, bien que depuis peu, un rôle important.

Le sens du mot *rare*, par exemple, n'est pas le même pour les climatologues et les ingénieurs. La citation suivante contient la signification courante pour les scientifiques : « un événement météorologique extrême devrait normalement être aussi rare, sinon plus, que le dixième ou le quatre-vingt-dixième percentile de la fonction de densité de probabilité observée » (p. ex. période couvrant une année ou une saison) (GIEC 2012). Quant aux ingénieurs, ils définissent « rare » en fonction de la fréquence acceptable de défaillance. Par exemple, on peut concevoir les barrages pour des événements à récurrence de 1 000 ou de 10 000 ans.

Le mot « modèle » est un autre exemple. En ingénierie, un modèle est souvent étalonné en fonction des observations et se comporte généralement de façon linéaire, c'est-à-dire que deux exécutions basées sur les mêmes paramètres d'entrée généreront exactement les mêmes résultats. On se sert souvent d'approches probabilistes qui fournissent toute la distribution de probabilité des résultats du modèle, mais les solutions demeurent linéaires. En revanche, un modèle climatique décrit des systèmes non linéaires (chaotiques). Deux exécutions basées sur des paramètres d'entrée ou des conditions initiales pratiquement identiques généreront des normales climatiques semblables à long terme, mais des séries temporelles totalement indépendantes. Bien que les modèles climatiques soient évalués selon les données observées, leurs paramètres ne sont pas étalonnés au sens où on l'entend généralement. Pour de nombreux ingénieurs, cette différence crée de la confusion et engendre le scepticisme.

Les groupes se comprendraient mieux s'ils disposaient d'un glossaire interdisciplinaire officiel.

7.1.3 ÉVOLUTION DES CONNAISSANCES SUR LES CONSÉQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Même si la science à la base des changements climatiques remonte au XIX^e siècle et qu'elle a acquis une large reconnaissance scientifique durant les années 1980, il n'y a toujours pas de consensus fort sur les conséquences régionales précises relevant de processus à échelle régionale. En pratique, ce manque de consensus signifie que les conclusions pourraient faire l'objet de révisions et ne peuvent être considérées comme faisant autorité avant d'être confirmées par des études indépendantes et l'épreuve du temps. Il est important de noter que les ingénieurs ont besoin des meilleures connaissances disponibles, et de reconnaître qu'il n'y a pas de réponse meilleure qu'une autre ni de réponse unique (CCN et Ouranos 2017).

Un exemple d'une telle révision concerne les niveaux des Grands Lacs et le débit du fleuve Saint-Laurent. Les études du début des années 2000 prévoyaient que, si les concentrations de CO₂ doubleraient, les niveaux des lacs connaîtraient une baisse considérable (2,5 m de moins pour les lacs Michigan et Huron) et les courants de débordement du lac Ontario diminueraient d'environ 30 % (Mortsch et coll. 2000). Des études effectuées plus tard ont révélé que des simplifications dans les calculs avaient gonflé les pertes en eau dues à l'élévation des températures, et qu'une approche plus réaliste donnait des résultats plus conformes à ce qu'on observe actuellement.

L'une des personnes interrogées a donné l'exemple d'une étude financée par un ministère provincial qui avait pour but de quantifier de futurs paramètres de conception pour la construction de rues. De nouvelles normes ont été établies à la suite de cette étude, mais celles-ci sont rapidement devenues obsolètes à la suite de la publication de nouvelles recherches. Ces normes étaient considérées comme trop contraignantes étant donné la nature évolutive des connaissances sous-jacentes. En somme, l'équilibre entre l'approche normative, qui fixe de nouvelles normes de conception, et l'approche axée sur l'orientation, qui détermine les objectifs et laisse la mise en œuvre aux praticiens, devrait dépendre de la maturité des connaissances.

7.1.4 ACCÈS AUX DONNÉES

L'accès aux données météorologiques et climatiques demeure problématique (CCN et Ouranos 2017). Par exemple, la densité spatiale des réseaux météorologiques est faible et inadéquate pour des projets d'ingénierie situés loin des régions peuplées. À cause de la taille du Canada, il est irréaliste de penser densifier suffisamment le réseau météorologique pour satisfaire aux normes d'ingénierie : il serait trop coûteux d'installer et d'entretenir un si grand nombre de stations. C'est pourquoi des fournisseurs de services climatiques et des ingénieurs ont commencé à élaborer des solutions. Certains ingénieurs se servent de données de réanalyse (CBCL 2017), alors que des climatologues travaillent sur des modèles spatiaux (McKenney et coll. 2011), des produits de réanalyse corrigés (Alain Mailhot et INRS-ETE) et des modèles statistiques spatiaux pour calculer des courbes IDF (Perreault et Jalbert 2016).

De plus, la résolution temporelle des données est souvent inadéquate. Par exemple, ce ne sont pas toutes les stations qui enregistrent les fortes pluies, particulièrement celles de courte durée, avec une assez bonne résolution. Celle-ci doit être d'au moins 15 minutes pour que l'on obtienne des estimations adéquates. Cependant, les données disponibles sur le portail Web d'ECCC ont une résolution de 60 minutes, même si certaines stations enregistrent les données des pluviomètres à auget basculeur plus d'une fois par heure. D'autres variables et indices climatiques ne sont pas facilement accessibles, notamment ceux obtenus par radar ou concernant le vent, la hauteur des vagues et le débit fluvial.

La nature de l'information sur les changements climatiques actuellement accessible ne répond pas aux besoins des ingénieurs pour la conception et l'analyse des risques des projets d'infrastructures. Les principaux problèmes concernent le type d'indicateur, la robustesse des méthodes de calcul des données, les représentations graphiques, les résolutions spatiale et temporelle, les données manquantes et l'absence de lignes directrices. En outre, puisque l'information sur les changements climatiques provient de plusieurs fournisseurs, il arrive que les ingénieurs ne sachent pas trop auquel se fier.

Enfin, les données météorologiques et climatiques sont éparpillées sur de nombreux portails, où seuls les professionnels ayant de bonnes aptitudes techniques peuvent les trouver. L'utilisation de ces données est donc difficile pour la majorité des utilisateurs.

7.1.5 INCERTITUDE ET PRISE DE DÉCISIONS

À cause de la taille du Canada, il est difficile d'installer et d'entretenir un nombre suffisant de stations pour surveiller les processus météorologiques et climatiques à une résolution spatiale et temporelle adéquate. Il y a donc un manque de données, ce qui signifie que l'incertitude liée aux données historiques est souvent importante, du moins pour les régions où la densité spatiale est faible. Traditionnellement, les ingénieurs pallient l'incertitude inhérente aux données météorologiques canadiennes en incorporant des facteurs de sécurité et en effectuant des analyses de sensibilité. Bien que l'on considère que la densification du réseau météorologique est une priorité importante (CCN et Ouranos 2017), il est peu probable que les ressources nécessaires soient disponibles.

Le degré d'incertitude des prévisions relatives aux changements climatiques est beaucoup plus élevé que celui avec lequel les ingénieurs devaient composer jusqu'ici (CCN et Ouranos 2017). En effet, les personnes interrogées ont mentionné une plage d'incertitude allant de -5 à +200 pour cent pour une analyse de sensibilité et un indicateur climatique dérivé des précipitations (CBCL 2017). Afin de réduire l'incertitude et de faciliter la prise de décisions, les ingénieurs et les organisations formulent des hypothèses, même si les pratiques exemplaires recommandent la prise en compte de l'entièreté de l'incertitude. L'information sur les changements climatiques étant relativement nouvelle pour le milieu du génie, les directives sur la façon de s'en servir adéquatement doivent être bien appuyées et expliquées, et doivent reconnaître l'incertitude sous-jacente.

Les circonstances imprévues font qu'il pourrait être difficile de moderniser l'information historique. Par exemple, la carte des inondations du sud de l'Ontario actuelle se base sur une seule tempête tropicale survenue en 1954, l'ouragan Hazel, et les ingénieurs tirent leur tempête nominale des données connexes. Puisque la référence se fonde sur un seul événement, on ne s'entend pas sur la façon d'ajuster la carte au climat futur. Aujourd'hui, certaines tempêtes sont plus fortes que l'ouragan Hazel, et le paradigme en Ontario devra changer pour que d'autres méthodes de conceptions puissent être considérées (Amec Foster Wheeler 2017).

En contexte de changements climatiques, la prise de décisions devient plus complexe, et les pratiques exemplaires antérieures pour la conception d'infrastructures sont difficilement applicables.

7.1.6 ABSENCE DE MÉTHODES CONSENSUELLES

Il existe de nombreuses méthodes pour obtenir de l'information sur les changements climatiques, notamment les courbes IDF et les scénarios climatiques. Entre autres, ces dernières décennies, de multiples initiatives ont été entreprises par des universitaires et des professionnels en vue de pallier la trop rare révision des courbes IDF d'ECCC. Cependant, la multiplicité des méthodes et des conclusions est source d'incertitude et de confusion.

On observe également une multiplication des méthodes dans le domaine des prévisions climatiques. Celles-ci proposent des estimations des conditions climatiques futures à partir, entre autres, d'un ensemble de modèles climatiques régionaux ou mondiaux. On trouve aussi diverses méthodes pour réduire l'échelle et corriger les biais (article 5.3.1). En outre, certains fournisseurs incorporent l'information climatique avec la méthode de delta (Charron 2016), d'autres se servent de simulations climatiques aux biais corrigés (PCIC 2017b; Charron 2016), et d'autres encore insèrent les simulations climatiques dans les modèles statistiques à l'aide de variables explicatives (Perreault et Jalbert 2016).

7.1.7 COÛT POSSIBLE DE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les avantages de l'adaptation aux changements climatiques peuvent sembler quelque peu abstraits, et il est tentant pour les organisations d'accorder la priorité aux investissements et aux projets donnant des résultats à court terme. Pour diminuer le coût de l'adaptation, on propose diverses solutions, dont la conception évolutive (paragraphe 6.2.2f) et l'approche à faible regret (Braun et Fournier 2016).

Une récente étude intégrée de G. Hughes et coll. conclut que « le coût de l'adaptation aux changements climatiques, étant donné le niveau de référence en matière d'infrastructures, ne dépasse pas un ou deux pour cent du coût total associé à une infrastructure » (Hughes et coll. 2010). Autrement dit, le coût marginal de l'adaptation de la conception peut être globalement faible. Une telle conclusion devrait être largement diffusée. Il faut cependant préciser que les estimations figurant dans le rapport de G. Hughes et coll. varient selon les régions et les secteurs économiques. Elles ont aussi été remises en question durant l'atelier organisé par le CCN et Ouranos (CCN et Ouranos 2017).

7.1.8 RESPONSABILITÉ

Les personnes interrogées se sont dites préoccupées quant à la question de la responsabilité. Les scientifiques élaborent de nombreuses méthodes, aux résultats variables, pour comprendre les données météorologiques, l'information climatique et les prévisions relatives aux changements climatiques. Les ingénieurs s'efforcent quant à eux de les mettre en pratique avec diligence, de manière à pouvoir défendre leurs choix devant un tribunal, au besoin. Les personnes interrogées ont expliqué qu'il est facile de trouver des experts qui en contrediront d'autres en cour, et qui créeront un doute raisonnable dans l'esprit d'un juge ou d'un jury (ECCC 2017b).

7.1.9 EXIGENCES

Le manque de politiques sur les processus d'approvisionnement d'un projet pose aussi problème pour l'intégration des changements climatiques à la conception d'infrastructures. Dans la plupart des cas, le choix de les incorporer ou non est laissé à l'ingénieur.

Des organismes publics, comme les ministères du transport de la Colombie-Britannique et du Québec, ont récemment commencé à exiger des évaluations des changements climatiques pour des projets particuliers. Toutefois, les personnes interrogées ont fait remarquer la nature floue de ce critère, qui demande une « évaluation des changements climatiques », expression qui prend une signification différente selon la personne. Les exigences législatives en vigueur sont vagues et comportent des énoncés tels « les nouveaux projets d'infrastructures devraient tenir compte des changements climatiques ».

Au moment de l'élaboration du bulletin d'information technique sur les changements climatiques du ministère des Transports et des Infrastructures de la Colombie-Britannique (2015) et des lignes directrices de l'Association of Professional Engineers and Geoscientists of the Province of BC (APEGBC) (APEGBC 2016), les ingénieurs ont demandé à ce que les exigences soient précises et détaillées. Or, les deux organismes ont rapidement compris qu'il serait difficile de faire des recommandations pratiques,

puisque'il s'agit d'un nouveau champ d'activité. Pour le moment, les praticiens en sont à tenir compte des changements climatiques du mieux qu'ils le peuvent et à consigner leur démarche. Il vaut mieux laisser une marge de manœuvre aux praticiens en ce qui concerne l'incorporation des changements climatiques à la conception de projets, pour qu'ensuite les pratiques exemplaires puissent être relayées dans les publications. Sur ces pratiques exemplaires seront basées les recommandations concrètes et précises en vue de l'élaboration de normes (PCIC 2017).

7.2 RECOMMANDATIONS

La présente section recommande des mesures visant à renforcer l'intégration de l'information climatique dans les pratiques d'ingénierie :

- Améliorer le caractère pratique des données enregistrées par les stations de surveillance climatique et météorologique, afin qu'elles soient utilisables pour divers objectifs.
- Améliorer la cohérence et l'exhaustivité de l'information climatique recueillie au Canada.
- S'assurer que les changements climatiques orientent la conception d'infrastructures et que les risques pertinents sont compris et explicités.
- Améliorer la communication au sujet de l'incertitude inhérente aux scénarios climatiques utilisés dans le processus de conception.

7.2.1 PORTAIL NATIONAL DE DONNÉES

Les personnes interrogées ont indiqué qu'il était difficile d'accéder aux données pertinentes pour un projet donné (CCN et Ouranos 2017). On recommande donc de créer un portail national pour cataloguer les données météorologiques, climatiques et issues de l'observation de la Terre pertinentes, et produire du matériel destiné aux utilisateurs à partir de ces données. Ce portail mettrait à profit les initiatives prévues et réalisées, comme le réseau de réseaux (paragraphe 5.2.2a), le Centre canadien des services climatiques et la Plateforme géospatiale fédérale.

Pour qu'il soit efficace, ce portail devrait satisfaire à certains critères. Il devrait comprendre une gamme de divers ensembles de données brutes, bien documentées et de qualité contrôlée. Il devrait également offrir plusieurs formats d'extraits, favoriser l'interopérabilité entre les appareils, faciliter l'entrée de données par des fournisseurs externes et comporter des fonctions de recherche intelligente.

Couverture des données

Les données offertes par le portail devraient couvrir la majorité des produits courants issus des données climatiques de l'observation de la Terre. Au minimum, le portail comprendrait les données de ministères fédéraux, mais idéalement, il contiendrait aussi celles d'autres sources gouvernementales, privées et universitaires. Comme dans le milieu de la télédétection, les données devraient être disponibles à différentes étapes de transformation, depuis les lectures des appareils jusqu'aux produits ayant subi un traitement important, comme des analyses de qualité contrôlée. Le portail devrait aussi fournir des données d'observation, notamment les séries temporelles de stations météorologiques, des cartes de précipitations obtenues par radar, des images satellites, ainsi que des produits créés par interprétation, comme des cartes des normales climatiques sur des périodes passées et futures, des courbes IDF, des valeurs de calcul utiles aux ingénieurs pour différentes villes et plus encore.

Documentation et contrôle de la qualité

Des documents normalisés devraient accompagner chaque ensemble de données afin d'informer adéquatement les utilisateurs des sources et des caractéristiques des données. Les fournisseurs de

données procureraient des métadonnées, comme le nom de la variable, l'unité, l'appareil de mesure, la résolution temporelle, la précision, l'historique des données et les coordonnées pertinentes.

Il est également recommandé d'instaurer un mécanisme pour évaluer la qualité des données et signaler les erreurs. Une évaluation des données menée par une tierce partie servirait de première évaluation, à laquelle s'ajouteraient les évaluations et les commentaires des utilisateurs, afin qu'une cote soit attribuée à chaque ensemble de données; par exemple, les utilisateurs finaux pourraient repérer les faiblesses possibles de certains ensembles de données et ainsi prévenir les autres utilisateurs et aider les fournisseurs à continuellement améliorer la qualité des ressources.

Format des fichiers et interopérabilité des appareils

La conversion des fichiers, depuis les formats privilégiés par les fournisseurs de données climatiques vers les formats préférés par les utilisateurs, est un long processus qui peut aussi entraîner des erreurs dans l'intégration des produits climatiques à la pratique. Le portail devrait offrir aux utilisateurs finaux des formats compatibles avec les logiciels d'ingénierie comme HEC-RAS et MIKE11 et d'autres formats plus courants tels CSV, XLS, XML, JSON et netCDF.

La même idée s'applique aux dialogues machine-machine. Le portail pourrait devenir une source pour des applications en ligne de tierces parties, qui intégreraient ces données climatiques dans des produits personnalisés. Le portail devrait utiliser une interface de programmation d'applications (API) documentée, qui permettrait aux fournisseurs de données de verser du contenu, et aux concepteurs de logiciels de chercher et de classer les données, et de les transmettre à des applications personnalisées.

Services du portail

Un défi commun à bien des portails de données est qu'il devient plus difficile d'y faire une recherche efficace à mesure qu'ils grossissent. Ce portail devrait donc comprendre un moteur de recherche efficace et intelligent, et offrir une suite de services de traitement pour les transformations les plus fréquentes, comme la formation de sous-ensembles spatiaux et temporels et le calcul de moyennes spatiales et temporelles. Il y aurait lieu d'incorporer d'autres services, comme une voie de communication pour les bases de données actualisées.

7.2.2 ORIENTATION SUR LA PRISE DE DÉCISIONS ET L'INCERTITUDE POUR LES INGÉNIEURS

En contexte de changements climatiques, la prise de décisions devient plus complexe pour les ingénieurs, notamment parce que les pratiques exemplaires antérieures et les normes existantes sont peu pertinentes, ce qui crée beaucoup d'incertitude sur les paramètres de conception. Cette situation n'est pas propre aux changements climatiques. Notons cependant que les ingénieurs et la société prennent des décisions cruciales malgré l'incertitude et le manque de lignes directrices; par exemple, lors de l'évaluation de la faisabilité d'une centrale hydroélectrique. C'est la société, et non les ingénieurs ou les organisations, qui devrait se charger de fixer les niveaux de risque acceptables.

Par conséquent, il est recommandé d'établir des lignes directrices et des pratiques exemplaires pour aider les ingénieurs à composer avec l'incertitude climatique. C'est d'ailleurs une propriété absolue selon les participants de l'atelier organisé par le CCN et Ouranos (CCN et Ouranos 2017). Les lignes directrices pourraient faire partie d'une norme qui répondrait à des questions comme :

- Dans quelles circonstances faut-il prendre en compte les changements climatiques dans la conception d'infrastructures?

- Quelles méthodes devraient être utilisées pour obtenir l'information climatique (p. ex. indicateurs, scénarios climatiques) et pour intégrer, selon des étapes détaillées et reproductibles, cette information à la conception d'infrastructures?
- Comment traduire l'incertitude climatique en facteurs de sécurité?
- Dans quelles circonstances une approche axée sur les risques est-elle préférable à une approche fondée sur les normes?
- Comment la conception évolutive devrait-elle être réglementée?

Les lignes directrices devraient pouvoir s'appliquer à un vaste éventail d'infrastructures de toute taille, à diverses étapes de projet.

7.2.3 ALMANACH SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LES INGÉNIEURS

Le présent rapport montre que l'information actuellement disponible sur les changements climatiques ne répond pas aux besoins des ingénieurs se consacrant à la conception d'infrastructures (CCN et Ouranos 2017). Pour maximiser la valeur des lignes directrices évoquées ci-dessus, on devrait leur adjoindre des paramètres de conception élaborés selon des prévisions de changements climatiques consignées dans un almanach. Les connaissances scientifiques sont déjà assez approfondies pour appuyer des normes relatives à certains paramètres de conception. Leur élaboration pourrait s'inspirer de la norme Climatic Data for Building Design Standards de l'ASHRAE, un document hautement apprécié des ingénieurs de toute l'Amérique du Nord.

Une nouvelle norme contiendrait des lignes directrices portant notamment sur les valeurs de calcul selon le type d'infrastructure, sa durée de vie prévue et son importance stratégique, ainsi que sur les conséquences associées à une défaillance. Elle établirait une correspondance entre les facteurs de sécurité et les méthodes possibles de prise en compte de l'incertitude sur les prévisions climatiques. Les valeurs seraient accompagnées d'évaluations de l'incertitude tenant compte de la confiance des fournisseurs dans les données et du rapport signal sur bruit. Ces évaluations varieraient selon la variable, la région et l'algorithme utilisé pour obtenir la valeur de calcul. Une norme applicable inclurait des tableaux et des cartes des valeurs de calcul pour chaque région du Canada, de même que pour plusieurs périodes de temps et degrés de tolérance au risque.

Finalement, l'almanach sur les changements climatiques devrait être rapidement révisable en fonction des nouvelles données du GIEC et des travaux scientifiques. Les nouvelles données devraient modifier les paramètres de conception, mais pas la norme elle-même. Celle-ci devrait être flexible et fournir des directives générales et reproductibles sur l'utilisation des simulations et des scénarios climatiques pour la conception de divers types d'infrastructure et la prise en compte de différents niveaux de risque.

8 RÉFÉRENCES

- Administration portuaire de Vancouver. (2017). Entrevue téléphonique.
- AME Group. (2017). Entrevue téléphonique avec Riley Beise.
- Amec Foster Wheeler. (2017). Entrevue téléphonique avec Peter Nimmrichter et Jonas Roberts.
- Association of Professional Engineers and Geoscientists of the Province of BC (APEGBC). (2016). *Developing Climate Change - Resilient Designs for Highway Infrastructure in British Columbia - APEGBC Professional practice guidelines*.
- Braun, M. et É. Fournier. (2016). *Études de cas d'adaptation dans le secteur de l'énergie : surmonter les obstacles à l'adaptation*, Montréal.
- Bureau de normalisation du Québec. (2017). Entrevue téléphonique avec Jean Rousseau.
- Casajus, N. et coll. (2016). « An Objective Approach to Select Climate Scenarios when Projecting Species Distribution under Climate Change », *PLOS ONE*, vol. 11, n° 3, p. 1-17.
- CBCL. (2017). Entrevue téléphonique avec Vincent Leys et Alexander Wilson.
- CCDP. (2017). *Ontario Climate Change Data Portal*. Sur Internet : <http://www.ontarioccdp.ca> (consulté le 5 septembre 2017).
- CCHIP. (2017). *Climate Change Hazards Information Portal*. Sur Internet : <http://cchip.ca> (consulté le 5 septembre 2017).
- CCN et Ouranos. (2017). Atelier sur l'élaboration d'un guide de normalisation pour les données météorologiques, l'information climatique et les prévisions relatives aux changements climatiques, Montréal, 26 juillet 2017.
- Centre d'expertise hydrique du Québec. (2017). Entrevue téléphonique avec Richard Turcotte.
- Charney, J. G., R. Fjörtoft et J. Neumann. (1950). « Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation », *Tellus*, vol. 2, n° 4, p. 237-254. Sur Internet : CiteULike, n° d'article : 12456416.
- 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, Montréal. Sur Internet : https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideScenarios2017_FR.pdf.
- Circé, M. et coll. (2016). *Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière à Percé*, Montréal.
- Coulibaly, P. et coll. (2016). *A Comparison of Future IDF Curves for Southern Ontario Addendum: IDF Statistics, Curves and Equations*.
- Daly, C. et coll. (2008). « Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States », *International Journal of Climatology*, vol. 28, n° 15, p. 2031-2064. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1688>.
- Earth System Grid Federation. (2017). What is ESGF? Sur Internet : <https://esgf.llnl.gov/>.
- Environnement et Changement climatique Canada. (2017a). Entrevue téléphonique avec Martin Élie.
- Environnement et Changement climatique Canada. (2017b). Entrevue téléphonique avec Philip Jarrett.

- Fiebrich, C. A. et coll. (2010). « Quality Assurance Procedures for Mesoscale Meteorological Data », *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 27, n° 10, p. 1565-1582. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1175/2010JTECHA1433.1>.
- Flato, G. et coll. (2013). « Evaluation of Climate Models », in T. F. Stocker et coll., éd., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge (Royaume-Uni) et New York (New York, États-Unis), Cambridge University Press, p. 741-866.
- Gennaretti, F., L. Sangelantoni et P. Grenier. (2015). « Toward daily climate scenarios for Canadian Arctic coastal zones with more realistic temperature-precipitation interdependence », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 120, n° 23, p. 11, 811 à 862 et 877. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1002/2015JD023890>.
- GIS Program. (2017). What is downscaling? Sur Internet : <https://gisclimatechange.ucar.edu/question/63> (consulté le 20 juillet 2006).
- Giuliani, G. et coll. (2017). « Spatially enabling the Global Framework for Climate Services: Reviewing geospatial solutions to efficiently share and integrate climate data & information », *Climate Services*. Sur Internet : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880716300772>.
- Golder Associates. (2017). Entrevue téléphonique avec Aytaç Göksu.
- Gouvernement du Canada. Données et scénarios climatiques canadiens. (2017). Données climatiques ajustées et homogénéisées. Sur Internet : <http://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=homogenized-data> (consulté le 1^{er} septembre 2017).
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick. (2017). Entrevue téléphonique avec Lindon Miller.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, édité par C. B. Field et coll., Cambridge (Royaume-Uni) et New York (New York, États-Unis), Cambridge University Press.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2013). « Résumé à l'intention des décideurs », in *Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques – Contribution du groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, p. 33.
- Hawkins, E. et R. Sutton. (2011). « The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change », *Climate Dynamics*, vol. 37, n° 1, p. 407-418. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-010-0810-6>.
- Huard, D. et coll. (2011). « A Decade of Climate Scenarios: The Ouranos Consortium Modus Operandi », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, n° 8, p. 1213-1225. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00163.1>.
- Hughes, G., P. Chinowsky et K. Strzepek. (2010). *The Costs of Adapting to Climate Change for Infrastructure*, Washington (D.C.).
- Hydro-Québec. (2017). Entrevue téléphonique avec Marie-Josée Doray.
- Ingénieurs Canada. Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques. (2017). CVIIP : Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques, Ingénieurs Canada.
- Ingénieurs Canada. (2017a). Entrevue téléphonique avec David Lapp.
- Ingénieurs Canada. Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques. (2017b).

- Glossaire*. Sur Internet : <https://pievc.ca/fr/glossaire> (consulté le 1^{er} juin 2017).
- Kalra, N. et coll. (2014). *Agreeing on robust decisions: new processes for decision making under deep uncertainty*, Washington (D.C.). Sur Internet : <http://documents.worldbank.org/curated/en/365031468338971343/Agreeing-on-robust-decisions-new-processes-for-decision-making-under-deep-uncertainty>.
- Mailhot, A. et coll. (2012). « Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations », *International Journal of Climatology*, vol. 32, n° 8, p. 1151-1163. Sur Internet : <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2343> (consulté le 22 janvier 2014).
- Maraun, D. (2013). « Bias Correction, Quantile Mapping, and Downscaling: Revisiting the Inflation Issue », *Journal of Climate*, vol. 26, n° 6, p. 2137-2143. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00821.1> (consulté le 1^{er} mai 2014).
- Maraun, D. (2016). « Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review », *Current Climate Change Reports*, p. 1-10. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1007/s40641-016-0050-x>.
- McKenney, D. W. et coll. (2011). « Customized Spatial Climate Models for North America », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 92, n° 12, p. 1611-1622. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1175/2011BAMS3132.1>.
- Mearns, L. O. et coll. (2001). « Climate scenario development », *Advances in Geoecology*, p. 739-768.
- Mekis, É. et L. A. Vincent. (2011). « An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada », *Atmosphere-Ocean*, vol. 49, n° 2, p. 163-177. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1080/07055900.2011.583910>.
- Met Office. (2017). Entrevue téléphonique avec Nicolas Fournier.
- Metro Vancouver. (2017). Entrevue téléphonique avec Lillian Zaremba.
- Metrolinx. (2017). Entrevue téléphonique avec Quentin Chiotti.
- Ministère des Transports et des Infrastructures de la Colombie-Britannique. (2015). *Climate Change and Extreme Weather Event Preparedness and Resilience in Engineering Infrastructure Design*, p. 6.
- Morris, R. (2017). Entrevue téléphonique avec Robert Morris.
- Mortsch, L. et coll. (2000). « Climate Change Impacts on the Hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence System », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, n° 2, p. 153-179.
- Muller, C. L. et coll. (2013). « Sensors and the city: a review of urban meteorological network », *International Journal of Climatology*, vol. 33, n° 7, p. 1585-1600. Sur Internet : <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3678>.
- Ocean Networks Canada. (2017). About Ocean Networks Canada. Sur Internet : <http://www.oceannetworks.ca/ABOUT-US> (consulté le 1^{er} juin 2017).
- Office de protection de la nature de Toronto et de la région. (2017). Entrevue téléphonique avec Ryan Ness.
- Olsen, J. R., éd. (2015). *Adapting Infrastructure and Civil Engineering Practice to a Changing Climate*, American Society of Civil Engineers. Sur Internet : <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784479193>.
- Ouranos. (2015). Vers l'adaptation : synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec, édition 2015, Montréal.

- Pacific Climate Impacts Consortium. (2017a). Data Portal. Sur Internet : <https://www.pacificclimate.org/data> (consulté le 5 septembre 2017).
- Pacific Climate Impacts Consortium. (2017b). Entrevue téléphonique avec Trevor Murdock.
- Perreault, L. et J. Jalbert. (2016). *Estimation des courbes IDF aux postes de transformation d'Hydro-Québec : rapport synthèse*, Montréal.
- Reanalyses.org. (2017). Reanalyses.org. Sur Internet : <http://reanalyses.org> (consulté le 1^{er} juin 2017).
- Ressources naturelles Canada. (2017). Entrevue téléphonique avec Dan McKenney.
- Simonovic, S. P. et coll. (2016). « A web-based tool for the development of Intensity Duration Frequency curves under changing climate », *Environmental Modelling & Software*, vol. 81, p. 136-153.
- Solutions Mesonet. (2017). Entrevue téléphonique avec Paul Brouillette.
- Thiemeßl, M. J., A. Gobiet et G. Heinrich. (2012). « Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal », *Climatic Change*, vol. 112, n° 2, p. 449-468.
- Université York et Novus Environmental Inc. (2017). Entrevue téléphonique avec Xin Qiu.
- Ville de Montréal. (2017). Entrevue téléphonique avec Alain Charron.
- Vincent, L. A. et coll. (2002). « Homogenization of Daily Temperatures over Canada », *Journal of Climate*, vol. 15, p. 1322-1334. Sur Internet : [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1322:HODTOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1322:HODTOC>2.0.CO;2).

Annexe A. **GUIDE D'ENTREVUE AVEC LES FOURNISSEURS DE DONNÉES**

La liste d'analyse ci-dessous a guidé les entrevues semi-dirigées avec 16 fournisseurs de données.

Renseignements généraux

- Qui est la personne interrogée?
- Quelles sont ses fonctions dans l'organisation? Depuis quand?
- Expérience et expertise?
- Expérience en matière de données météorologiques et climatiques?
- Exemples de projets
- Exemples de services climatiques offerts

Chaîne d'approvisionnement

- Description générale
 - Comment, où, pourquoi offrez-vous des données?
- Déploiement d'instruments?
 - ☐ Stratégie de déploiement, fin, déplacement, objectif (qui motive les décisions)
 - ☐ Facteurs, critères, normes et règlements existants
 - ☐ Stratégie de distribution spatiale (analyse de rentabilité?)
 - ☐ Demandes individuelles
 - ☐ Choix du type et du modèle d'instrument
 - ☐ Variables et leur résolution temporelle
 - Température, précipitations, vent, glace, pluie verglaçante, neige lourde
 - ☐ Surveillez-vous les instruments? Les améliorez-vous ou les modifiez-vous?
 - ☐ **Forces et faiblesses**
- Collecte et exploitation des données
 - ☐ Collecte automatisée
 - ☐ Collecte manuelle
 - Fréquence de la collecte manuelle (neige)
 - ☐ Problèmes avec les stations actuelles
 - ☐ **Forces et faiblesses**
- Gestion et entretien du réseau météorologique
 - ☐ Quel genre d'entretien?
 - ☐ Défis?
 - ☐ **Forces et faiblesses**
- Stockage des données
 - ☐ Où, par qui et pour combien de temps les données sont-elles stockées?
 - ☐ Sous quel format les données sont-elles stockées?

- ☐ Sécurité? Copies de sauvegarde?
- ☐ **Forces et faiblesses**
- Diffusion des données météorologiques et climatiques
 - ☐ Types de diffusion
 - ☐ Stratégie de distribution
 - Public cible
 - Vos données seulement, ou aussi des données d'autres parties?
 - ☐ Type de licence (est-ce gratuit?)
 - Pourquoi cette licence?
 - ☐ Comment choisissez-vous le format de l'information?
 - Type d'indicateurs
 - Type de fichiers
 - ☐ Plateforme Web
 - Protocole de transfert de fichier (FTP)
 - Centre de données
 - ☐ Commentaires des utilisateurs
 - ☐ Besoin d'uniformisation?
 - Assurez-vous une coordination avec d'autres organisations?
 - Format de présentation
 - Format des fichiers
 - Plateforme Web
 - ☐ **Forces et faiblesses**
- Prestation de services climatiques
 - ☐ Soutien? Type d'équipe, type de soutien
 - ☐ Mécanismes et facteurs pour que les utilisateurs finaux aient l'information nécessaire
 - ☐ Données brutes, métadonnées et produits climatiques offerts
 - ☐ Coût et qualité, adhésion
 - ☐ **Forces et faiblesses**
- Service lié aux changements climatiques?
 - ☐ Scénarios, indicateurs
 - ☐ Soutien
 - ☐ Données provenant d'une autre organisation
 - ☐ Quoi, comment, pourquoi...
 - ☐ Coordination et relations avec d'autres réseaux
- Contrôle de la qualité à chaque étape du flux de travaux
 - ☐ Type
 - Selon des procédures ou des documents
 - Manuel, algorithme?
 - ☐ Données manquantes
 - ☐ **Forces et faiblesses**
- Défis

Possibilités d'amélioration des ensembles de données

- Voyez-vous des lacunes importantes dans la chaîne d'approvisionnement?
 - ☐ Votre chaîne d'approvisionnement
 - ☐ La chaîne d'approvisionnement en général (d'autres organisations)
 - ☐ Communication avec les utilisateurs
- Comment combler les lacunes repérées?
 - ☐ Solutions simples
 - ☐ Solutions exhaustives
- Prévoyez-vous améliorer votre chaîne d'approvisionnement?
 - ☐ Convivialité (plus de données, meilleur format?)
 - ☐ Uniformité
 - ☐ Qualité
 - ☐ Partenariat avec d'autres organisations? (RMCQ, ECCC ou MDDELCC)
 - ☐ Accès plus facile aux données (Web ou sur demande)
- Quelle est la stratégie en ce qui concerne les améliorations?
 - ☐ Coûts-bénéfices?

Normes

- L'information fournie sert-elle à évaluer des valeurs de calcul pour des infrastructures?
 - ☐ Indicateurs
 - Courbes IDF
 - Normale de température
 - PMP/CMP
 - Renseignements sur le vent
 - Renseignements sur la pluie verglaçante
 - Conditions moyennes et extrêmes
 - Équivalent en eau de la neige
 - Profondeur de gel
 - Cycle de dégel
 - ☐ Comment sélectionner les indicateurs?
 - Besoins des utilisateurs?
 - Lignes directrices de normes existantes?
 - Jugement d'expert?
- Intégrez-vous les signaux de changement climatique à ces renseignements?
 - ☐ Comment pourraient-ils être intégrés?
 - ☐ Normes relatives à l'information sur les changements climatiques
 - ☐ Intégration au moyen d'une expertise interne ou externe?
 - ☐ Commentaires des utilisateurs
- Difficultés et défis liés à l'intégration des changements climatiques

Annexe B. GUIDE D'ENTREVUE AVEC LES INGÉNIEURS

La liste d'analyse ci-dessous a guidé les entrevues semi-dirigées avec 17 utilisateurs finaux.

Renseignements généraux

- Qui est la personne interrogée?
- Quelles sont ses fonctions dans l'organisation? Depuis quand?
- Expérience et expertise en matière de données climatiques?
- Expérience et expertise en matière de conception d'infrastructure?
- Exemples de projets (égouts, aqueducs, ponts, routes, chemins de fer, barrages, digues, etc.)
- Exemple de services d'ingénierie offerts

Sources de données météorologiques

- De quels types de données climatiques vous servez-vous dans la conception d'infrastructures? (durée de l'enregistrement des données)
 - ☐ Variables, indicateurs et statistiques climatiques
 - Température
 - Statistiques (moyennes, extrêmes)
 - Résolution spatiale et temporelle
 - Précipitations
 - Statistiques (moyennes, extrêmes)
 - Résolution spatiale et temporelle
 - Vent
 - Statistiques (moyennes, extrêmes)
 - Résolution spatiale et temporelle
 - Pluie verglaçante
 - Autre
 - ☐ Indicateurs climatiques
 - Courbes IDF
 - PMP/CMP
 - Équivalent en eau de la neige
 - Profondeur de gel
 - Cycle de gel/dégel
 - Autres
 - ☐ Données de station météorologique, données réparties sur une grille
 - ☐ Données radar
 - ☐ Données de réanalyse
 - ☐ Prévision des changements climatiques
- D'où tirez-vous les données climatiques (sources)?

- ☐ Manuels
- ☐ Articles scientifiques
- ☐ Consultant externe (fournisseur de services climatiques)
- ☐ Organisme public (site Web, communication personnelle)
- ☐ Équipe interne de services climatiques
- Type de données : sont-elles dans le bon format ou doivent-elles être manipulées?
 - ☐ Manipulation de données (interpolation, contrôle de la qualité)
 - ☐ Données adaptées aux besoins des projets
- L'information sur l'incertitude est-elle fournie avec les données?
 - ☐ Si oui, comment?
 - ☐ Si non, aimeriez-vous qu'elle le soit? Vous serviriez-vous des données différemment si vous aviez cette information?
- Votre degré de confiance est-il plus élevé pour les données provenant de sources locales, régionales, provinciales ou fédérales?
- Degré de confiance dans les données que vous utilisez

Comment l'information climatique est-elle utilisée pour la conception?

- Méthodes d'utilisation des données
 - ☐ Que faites-vous si des données sont manquantes?
 - ☐ Prise en compte des conditions locales et régionales
 - ☐ Regroupement de stations
 - ☐ Autres modifications?
- Comment intégrez-vous (sans hésitation) l'information climatique historique à la conception d'infrastructures?
 - ☐ Les valeurs sont directement utilisées dans les équations ou les modèles numériques
 - ☐ Analyse de sensibilité
 - ☐ Facteur de sécurité
 - ☐ Protocole global de prise de décisions
 - ☐ Évaluation de la vulnérabilité
 - ☐ Autre
- Devez-vous manipuler les données avant de les intégrer?
 - ☐ Que faites-vous si des données sont manquantes?
 - ☐ Prise en compte des conditions locales et régionales
 - ☐ Regroupement de stations
 - ☐ Autres modifications?
- Intégrez-vous l'information sur les changements climatiques à la conception d'infrastructures?
 - ☐ Est-ce votre initiative, ou est-ce sur demande du client?
 - ☐ Défis
 - ☐ Obstacles

- Comment envisagez-vous d'intégrer, ou comment intégrez-vous (sans hésitation) l'information sur les futurs changements climatiques à la conception d'infrastructures?
 - ☐ Les valeurs sont directement utilisées dans les équations ou les modèles numériques
 - ☐ Analyse de sensibilité
 - ☐ Facteur de sécurité
 - ☐ Protocole global de prise de décisions
- Devez-vous manipuler les données avant de les intégrer?
 - ☐ Réduction d'échelle? Selon quelles méthodes? Qui s'en charge?
- Comment composez-vous avec l'incertitude inhérente aux données sur les changements climatiques?
 - ☐ Estimation
 - ☐ Prise en compte
 - Sélection d'un scénario relatif aux gaz à effet de serre, et autres détails
 - Inexactitudes des modèles climatiques
 - Variabilité naturelle du climat

Comment communiquez-vous l'information climatique à vos clients?

- Quel genre d'information sur les changements climatiques donnez-vous à vos clients? Quel type de validation de l'information faites-vous auprès d'eux?
 - ☐ Validation de l'hypothèse climatique auprès du client
 - ☐ Documentation écrite sur l'hypothèse
 - ☐ Sélection de critères avec le client
- Comment communiquez-vous l'incertitude dans les renseignements climatiques à vos clients?
 - ☐ Risques (ne pas dire ce mot pendant l'entrevue!)

Besoins de la personne interrogée pour mieux intégrer l'information climatique

- Comment les fournisseurs de services climatiques pourraient-ils améliorer leurs services?
 - ☐ Ensembles de données
 - ☐ Communication de l'incertitude
 - ☐ Résolution spatiale
 - ☐ Services personnalisés pour les consultants, les associations et les projets particuliers
 - ☐ Autre
- Voyez-vous des lacunes importantes dans la chaîne d'approvisionnement des services climatiques?
 - ☐ En général
 - ☐ Communication
 - ☐ Lignes directrices
 - ☐ Autre
- Comment comblez-vous les lacunes dans les données?

- Comment votre organisation envisage-t-elle de s'améliorer en ce qui concerne les services climatiques?
- De quoi auriez-vous besoin pour intégrer l'information sur les changements climatiques à la conception d'infrastructures?
 - ☐ Inclusion dans les normes
 - ☐ Données accessibles
 - ☐ Expertise interne
 - ☐ Services climatiques accessibles
 - ☐ Clients et intervenants mieux informés
- Selon votre organisation, a-t-on besoin de normes en matière d'information sur les changements climatiques?



550, rue Sherbrooke Ouest, 19^e étage

Montréal (Québec) H3A 1B9, Canada

Tél. : 514 282-6464

Télec. : 514 282-7131

www.ouranos.ca

Ouranos est né en 2001 de la vision commune du gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et d'Environnement Canada, avec l'appui financier de Valorisation-Recherche Québec. Fort d'un réseau de quelque 450 scientifiques et professionnels de disciplines diverses, le consortium se consacre à deux thèmes principaux : la science du climat, et les vulnérabilités, les conséquences et l'adaptation. Il a pour mission d'acquérir et de développer des connaissances sur les changements climatiques, leurs conséquences ainsi que les vulnérabilités socioéconomiques et environnementales, dans le but d'informer les décideurs sur l'évolution du climat et de les aider à repérer, évaluer, promouvoir et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation régionales et locales.