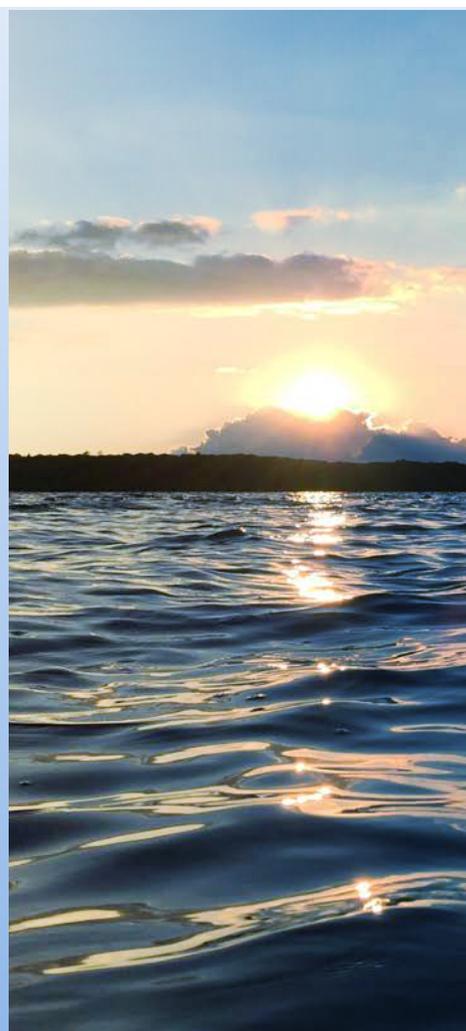


ICIP

Chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique

FICHE D'INFORMATION ET MÉTHODOLOGIE DU PROJET



2021/2022



BRF

BUREAU DE LA RESPONSABILITÉ
FINANCIÈRE DE L'ONTARIO

À propos de ce document

Établi en vertu de la Loi de 2013 sur le directeur de la responsabilité financière, le Bureau de la responsabilité financière (BRF) a pour mandat de fournir une analyse indépendante de la situation financière de la province, des tendances de l'économie provinciale et de toute autre question d'intérêt pour l'Assemblée législative de l'Ontario.

Le BRF produit une analyse indépendante à l'initiative du directeur de la responsabilité financière. Si un membre ou un comité de l'Assemblée en fait la demande, le directeur peut aussi exiger que le BRF entreprenne une recherche afin d'estimer les coûts financiers ou les avantages financiers pour la province de tout projet de loi ou proposition dont la compétence relève de la législature. Le présent rapport a été préparé en réponse à une demande d'un membre de l'Assemblée législative. Conformément au mandat du BRF visant à fournir à l'Assemblée législative de l'Ontario une analyse économique et financière indépendante, ce rapport ne fait aucune recommandation.

Le présent rapport a été préparé par Jay Park, Nicolas Rhodes, Sabrina Afroz et Mavis Yang, sous la supervision d'Edward Crummey. Ce rapport a bénéficié de la contribution de Katrina Talavera, Laura Irish, Paul Lewis et David West.

Des évaluateurs externes ont commenté les premières ébauches du présent rapport. L'aide d'évaluateurs externes n'implique aucunement leur responsabilité en ce qui concerne le rapport final, laquelle repose entièrement sur le BRF.



BRF

BUREAU DE LA RESPONSABILITÉ
FINANCIÈRE DE L'ONTARIO



Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario
2, rue Bloor Ouest, bureau 900, Toronto (Ontario) M4W 3E2
fao-on.org/fr | info@fao-on.org | 416-644-0702

Ce document est également disponible en format accessible et peut être téléchargé au format PDF depuis notre site Web.

ISSN 2564-3932

© Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2021





Faits saillants

- En juin 2019, un député a demandé au BRF d'analyser les coûts à long terme que pourraient entraîner les changements climatiques sur les infrastructures provinciales et municipales de l'Ontario, ainsi que les implications budgétaires potentielles. En réponse à cette requête, le BRF a lancé son projet visant à chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique (ICIP).
- Lors des deux premières phases de ce projet, le BRF a fait l'analyse de la composition et de l'état de fonctionnement de l'infrastructure municipale et provinciale. Les résultats de cette analyse ont été publiés en novembre 2020 et en août 2021. S'appuyant sur ces données, le présent rapport fait état du contexte et de la méthodologie employée pour la troisième phase de ce projet, dont l'objectif consiste à évaluer le coût des effets de certains risques climatiques sur l'infrastructure publique (ICIP) en Ontario.
- Le présent rapport a pour but :
 - de présenter le contexte dans lequel est né ce projet, ses origines et sa mise en œuvre à venir;
 - de présenter le raisonnement qui a conduit au choix des menaces climatiques susceptibles d'affecter l'infrastructure publique et retenues pour le projet;
 - d'examiner les projections climatiques utilisées pour évaluer l'impact potentiel de ces risques sur l'infrastructure publique;
 - d'exposer brièvement la méthodologie employée pour l'évaluation des coûts dans ce projet, et d'inclure notamment les concepts clés, les mises en garde et les hypothèses de travail.
- Le présent rapport de synthèse n'inclut pas de données d'évaluations de coûts. Celles-ci seront publiées au cours des prochains mois en trois rapports d'infrastructure pour les secteurs des bâtiments, des transports ainsi que du traitement des eaux pluviales et des eaux usées.



Chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique

Document de synthèse et méthodologie

Table des matières

Faits saillants	i
1 Contexte du projet	2
Introduction	2
Contexte du projet	3
Le projet « Chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique » du BRF	7
2 Projection de l'effet des risques climatiques sur l'infrastructure publique	9
Les scénarios de changement climatique mondial	9
Les données sur le changement climatique utilisées pour ce projet sur les ICIP	13
Risques climatiques inclus dans le projet sur les ICIP	17
Principales tendances des cycles de température, de pluie et de gel-dégel en Ontario	20
3 Méthodologie de l'ICIP	32
Résumé	32
Étendue des infrastructures publiques incluses dans l'ICIP	33
Les coûts à long terme de l'entretien des infrastructures publiques	35
Présentation des coûts en tenant compte de l'incertitude	41
Avantages et limitations de l'approche du BRF	45
4 Annexe	48
Modèle de détérioration de l'infrastructure	49
5 Bibliographie	57

Liste des acronymes

Terme abrégé	Signification
AR5	Cinquième rapport d'évaluation
AR6	Sixième rapport d'évaluation
BCCAQv2	Correction de biais avec construction d'analogues et reclassification des quantiles, version 2
ICIP	Chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique (projet)
VRA	Valeur de remplacement actuelle
IDF	Intensité-Durée-Fréquence (courbe)
GIEC	Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
EE	Exploitation et entretien
SRCP	Scénarios RCP
EELM	Experts en la matière
TSP	Trajectoires socio-économiques partagées
DVU	Durée de vie utile
WSP	WSP Global inc.

1 | Contexte du projet

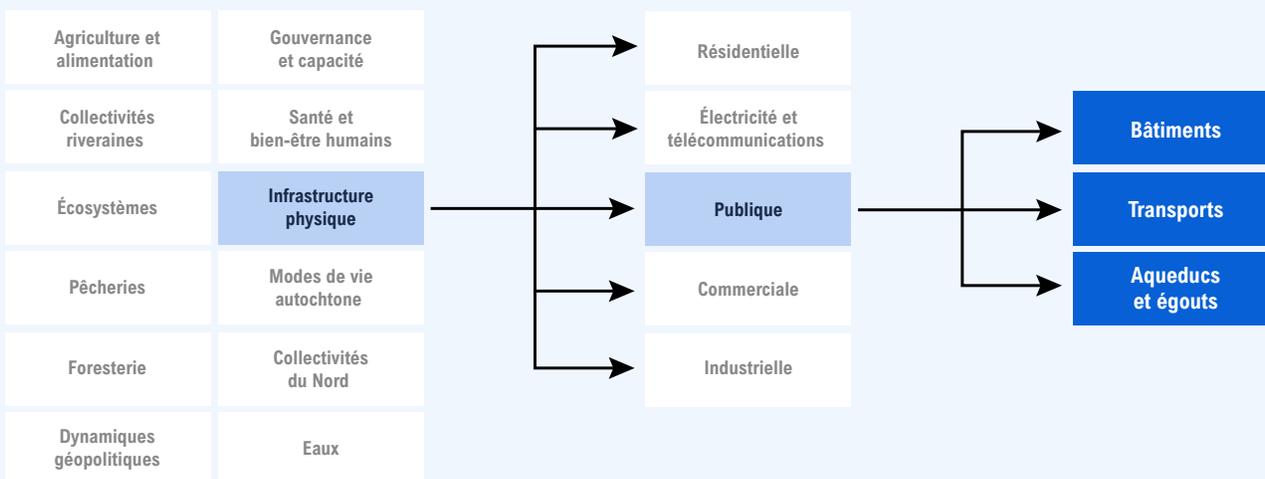
Introduction

Au mois d'août 2021, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié son sixième rapport d'évaluation scientifique exhaustif (AR6), qui affirme qu'il « est indéniable que l'activité humaine a contribué à réchauffer l'atmosphère, les océans et les terres émergées. Des changements rapides et généralisés sont déjà survenus dans l'atmosphère, les océans, la cryosphère ainsi que la biosphère¹. » En Ontario, la température moyenne annuelle a augmenté de 1,3 °C de 1948 à 2016². Les projections climatiques pour l'Ontario indiquent que les températures moyennes annualisées pourraient connaître une hausse située entre 1,0 et 6,9 °C d'ici 2081 à 2100, comparativement aux moyennes de la période de 1986 à 2005³.

De nombreux rapports publiés récemment mettent en évidence les coûts croissants et les perturbations que les changements climatiques entraînent dans la société à plusieurs égards. Le Conseil des académies canadiennes a relevé 12 domaines majeurs de risque lié aux changements climatiques pour le Canada, le risque pour l'infrastructure physique considéré comme l'un des plus probables et portant le plus à conséquence⁴. Ressources naturelles Canada reflète cette conclusion dans une analyse publiée récemment⁵.

Tableau 1-1

Les impacts sur l'infrastructure physique sont l'une des nombreuses façons dont l'Ontario est touché par le changement climatique



Source : Conseil des académies canadiennes et BRF.

¹ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021.

² Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, section 8.4.2.3.

³ Ibid, tableau 4.2, la fourchette correspond à la projection du 25^e percentile selon le RCP2.6 à la projection du 75^e percentile selon le RCP8.5.

⁴ Conseil des académies canadiennes, 2019.

⁵ Warren, F. et Lulham, N., éditeurs, 2021, page 12.

Pour assurer la sécurité et la fiabilité d'un bien d'infrastructure, celui-ci est conçu, construit et entretenu pour résister à une gamme précise de conditions climatiques généralement dérivées de la charge climatique historique. Toutefois, comme de nombreux biens publics sont généralement conçus pour servir de 50 à 100 ans, il n'est plus possible de se fier aux paramètres climatiques du passé pour concevoir et gérer l'infrastructure publique⁶, puisque l'infrastructure du Canada est exposée à des risques importants liés aux impacts du changement climatique qui auront pour effet de réduire sa durée de vie utile et son efficacité⁷.

Contexte du projet

Le Canada a produit un nombre important et croissant d'études et de travaux qui se penchent sur le changement climatique et ses possibles impacts sur l'infrastructure publique. Toutefois, s'il est vrai que les plans climatiques du fédéral et de l'Ontario ont prévu des cibles d'émission et reconnaissent l'importance de financer adéquatement la résilience des infrastructures⁸, aucun des deux gouvernements n'a encore pleinement évalué les risques climatiques qui menacent l'infrastructure publique ni préparé de plan global adapté pour y faire face⁹.

À l'échelon fédéral, la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques a été établie en 2012 pour servir de forum national destiné à disséminer l'information et à promouvoir la collaboration des divers intervenants¹⁰. À titre de participant à cette plateforme, le Groupe de travail sur les infrastructures et bâtiments (GTIB) a publié un survol de l'état de l'adaptation au climat au Canada et a déterminé des priorités pour tous les gouvernements, notamment la nécessité d'établir les inventaires des infrastructures et d'allouer des budgets pour l'adaptation au changement climatique¹¹. L'impact du changement climatique sur les données relatives au design au Canada¹² a récemment été évalué¹³, et pourra être intégré dans les codes du bâtiment provincial et fédéral d'ici à 2025¹⁴. Dans son « Rapport sur les enjeux nationaux » le gouvernement fédéral présente aussi un survol à l'échelle nationale des impacts qu'entraîne le changement climatique ainsi que des difficultés à s'y adapter. Le rapport démontre toute l'importance que revêt l'analyse économique pour planifier des mesures d'adaptation adéquates ainsi que les avantages inhérents aux mesures d'adaptation et aux investissements proactifs¹⁵. La date de publication de la stratégie d'adaptation nationale du gouvernement fédéral, laquelle sera mise au point en consultation avec une gamme étendue d'intervenants, notamment les provinces et territoires, est prévue pour l'automne 2022¹⁶.

Dates de publication des rapports thématiques du gouvernement



Continue sur la prochaine page

⁶ L'Institut international du développement durable, 2021, page iv.

⁷ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiars, F.W., 2020.

⁸ [Plans et mesures d'adaptation aux changements climatiques](#), gouvernement du Canada. Gouvernement de l'Ontario, 2018.

⁹ Bureau du vérificateur général du Canada, 2018.

¹⁰ [Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques](#), Ressources naturelles Canada.

¹¹ Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017.

¹² Les données en design relatives au climat éclairent les décisions liées au design des infrastructures et sont inscrites au Code national du bâtiment et à d'autres codes de design.

¹³ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiars, F.W., 2020.

¹⁴ [Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base](#), gouvernement du Canada.

¹⁵ Warren, F. et Lulham, N., éditeurs, 2021.

¹⁶ [Stratégie nationale d'adaptation du Canada](#), gouvernement du Canada.

Dates de publication des rapports thématiques du gouvernement

(suite)



À l'échelon provincial, le Groupe d'experts sur les résultats de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques de l'Ontario a publié en 2009 un rapport qui recommandait la mise en place d'un plan de mesures d'adaptation au changement climatique pour toute la province¹⁷. En 2011, la province a publié le document *L'adaptation au changement climatique : Stratégie et plan d'action de l'Ontario*¹⁸ qui adoptait les recommandations du groupe d'experts et fixait des objectifs généraux à l'égard de la réduction d'émissions et des mesures d'adaptation au changement climatique. Toutefois, en 2016, le rapport de la vérificatrice générale de l'Ontario relève qu'en date du mois d'août 2016, plusieurs éléments du Plan de mesures d'adaptation de 2011 n'avaient été que partiellement mis en œuvre¹⁹. Par la suite, la province a publié en 2016 un Plan quinquennal d'action contre le changement climatique qui présentait quelques mesures d'adaptation sans faire un suivi spécifique des adaptations stratégiques du plan de 2011²⁰.

En 2015, l'Ontario promulguait la *Loi de 2015 sur l'infrastructure au service de l'emploi et de la prospérité* qui établissait 14 grands principes dont le gouvernement et tous les organismes parapublics doivent tenir compte dans leurs décisions liées à l'infrastructure, y compris la résilience face aux effets du changement climatique²¹. En vertu de la même loi, l'Ontario a adopté le *Règlement sur la planification de la gestion des biens pour l'infrastructure municipale* qui oblige les municipalités à envisager des mesures pour remédier aux vulnérabilités possibles de leur infrastructure à l'égard changements climatiques²².

En novembre 2018, le gouvernement a publié un plan pour l'environnement qui promettait d'évaluer l'incidence du changement climatique sur les communautés, l'infrastructure critique, l'économie et l'environnement naturel de l'Ontario ainsi que de mener des évaluations d'impact et de vulnérabilité pour certains secteurs clés tels que les transports et les systèmes d'aqueduc et égouts. Dans son rapport de 2019 sur les questions environnementales en Ontario, le Bureau du vérificateur

général de l'Ontario a reconnu que les dommages aux infrastructures causés par des conditions météorologiques extrêmes seront exacerbés par le changement climatique et a précisé que la résilience des infrastructures en Ontario doit être considérablement améliorée²³. En 2020, le gouvernement de l'Ontario a publié sa stratégie pour réduire les risques d'inondations et les impacts de ces dernières dans la province²⁴. Enfin, l'Ontario a lancé son projet d'évaluation de l'impact du changement climatique en 2020, qui devrait être complété en 2022, qui vise à évaluer les impacts du changement climatique à l'échelle provinciale et régionale dans certains secteurs clés, notamment celui des infrastructures²⁵.

¹⁷ Le comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation, 2009.

¹⁸ Gouvernement de l'Ontario, 2011.

¹⁹ Bureau de la vérificatrice générale de l'Ontario, 2016.

²⁰ Gouvernement de l'Ontario, 2016.

²¹ *Loi de 2015 sur l'infrastructure au service de l'emploi et de la prospérité*, gouvernement de l'Ontario, 2015.

²² Règl. de l'Ont. 588/17 : PLANIFICATION DE LA GESTION DES BIENS POUR L'INFRASTRUCTURE MUNICIPALE, gouvernement de l'Ontario, 2017.

²³ Bureau de la vérificatrice générale de l'Ontario, 2019.

²⁴ Gouvernement de l'Ontario, 2020.

²⁵ *L'Ontario lance la toute première évaluation provinciale de l'impact du changement climatique*, gouvernement de l'Ontario, 2020.

Outre le gouvernement, le secteur de l'assurance chiffre l'impact des catastrophes naturelles sur l'infrastructure privée, le plus souvent pour des événements spécifiques²⁶. Plusieurs évaluations des impacts du climat sur l'infrastructure publique se concentrent sur des biens précis. Par exemple, les études de cas du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie de l'infrastructure publique (CVIIP) qui examinent la résilience de certains biens, en tout ou en partie, selon différents scénarios climatiques²⁷.

Le Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (groupe de travail sur la transparence financière liée au climat) recommande que les gestionnaires de biens d'infrastructures publiques et privées évaluent et divulguent les menaces physiques liées au climat afin qu'elles soient incluses dans le processus de prise de décisions financières, mais cette pratique n'est pas encore courante au Canada²⁸. Récemment, toutefois, certains organismes ont commencé à mener des évaluations détaillées des coûts engendrés par le changement climatique sur les infrastructures publiques et privées à l'échelle nationale²⁹. À cet effet, le projet sur les ICIP du BRF s'ajoute à un nombre croissant d'études entourant les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique.

²⁶ Par exemple, voir : [Bureau d'assurance du Canada](#) et [Institut de prévention des sinistres catastrophiques](#).

²⁷ Voir : [protocole du CVIIP](#).

²⁸ Task Force on Climate-related Financial Disclosures, 2017.

²⁹ Par exemple, voir : [Submergés : Les coûts des changements climatiques pour l'infrastructure au Canada](#), Institut canadien pour des choix climatiques, 2021. Ou : [Investir dans l'avenir du Canada : le coût de l'adaptation au changement climatique](#), Fédération canadienne des municipalités, 2019.



Le projet « Chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique » du BRF

Au mois de juin 2019, un député a demandé au BRF une analyse des coûts qui pourraient découler des impacts du changement climatique sur les infrastructures municipales et provinciales de l'Ontario et de l'effet de ces coûts sur les perspectives budgétaires à long terme de la province. En réponse à cette requête, le BRF a lancé son projet visant à chiffrer les impacts du changement climatique sur l'infrastructure publique (ICIP).

Lors de la phase initiale du projet, le BRF a évalué la composition et l'état de fonctionnement de l'infrastructure provinciale et a publié ses constatations en novembre 2020³⁰. Pour la deuxième phase, le BRF a procédé à une évaluation similaire de l'infrastructure municipale de l'Ontario, dont les résultats ont été publiés en août 2021³¹.

La phase finale du projet sur les ICIP a pour objectif de fournir une estimation générale des dépenses budgétaires additionnelles à long terme que certains risques du changement climatique pourraient entraîner pour la province et les municipalités en raison d'une détérioration accélérée de l'infrastructure et de frais de fonctionnement accrus en l'absence de mesures d'adaptation. Le projet abordera également les adaptations possibles affronter ces risques climatiques et fournira un large éventail d'estimations des coûts au niveau du portefeuille de biens.

Il est clairement établi que le maintien des biens en bon état de fonctionnement permet de profiter au maximum de l'infrastructure publique de manière rentable à plus long terme. Le changement climatique aura un impact certain sur l'infrastructure publique à plusieurs égards, ce qui pourrait entraîner des conséquences budgétaires importantes. Bien que l'idée de quantifier ces impacts et d'en estimer les coûts pour les propriétaires de biens soit relativement nouvelle, cette méthodologie pourrait éclairer les décisions de financement des immobilisations des gouvernements provincial et municipaux aujourd'hui et à l'avenir.

Bien qu'il existe plusieurs risques climatiques pouvant affecter l'infrastructure publique, ce projet se concentre sur les risques les plus susceptibles d'avoir un impact majeur sur les dépenses et pour lesquels les prévisions des experts en climat peuvent être établies avec un degré de confiance raisonnable. Parmi ces risques, on compte les précipitations extrêmes, les chaleurs extrêmes et les cycles de gel et de dégel. Le chapitre 2 présente les projections climatiques utilisées pour ce projet, les tendances clés qui s'en dégagent et les raisons qui ont motivé le choix des risques climatiques retenus pour le projet.

Plusieurs enjeux vont au-delà du champ d'analyse de ce projet. Le projet sur les ICIP ne rend pas compte des efforts pour réduire les émissions de gaz à effet de serre déployés par la province de l'Ontario, malgré leur importance. Le projet n'évalue pas non plus la résistance au changement climatique de biens précis, mais aborde plutôt cet enjeu par classe de biens. Le projet examine l'incidence financière sur les gestionnaires de biens municipaux et provinciaux et ne tente nullement d'évaluer les coûts ou impacts sociétaux qu'entraînerait une défaillance des infrastructures³². Pour cette raison, le projet ne propose pas d'analyse coûts-avantages qui compare le coût des dommages causés par le changement climatique à celui des mesures d'adaptation. Le projet n'étudie pas, non plus, l'incidence du changement climatique sur l'infrastructure privée, notamment le logement et les installations commerciales ou industrielles. La méthodologie appliquée à ce projet, dont les mises en garde et les suppositions, est présentée au chapitre 3.

³⁰ Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2020.

³¹ Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2021.

³² Par exemple, si un ponton est défaillant et qu'une route s'affaisse, le projet inclurait les montants défrayés par les gouvernements pour la réparation du ponton et de la route, mais exclurait ceux encourus par les résidents ou commerces riverains dont le sous-sol aurait été inondé ou la perturbation du service routier qui pourrait en découler.

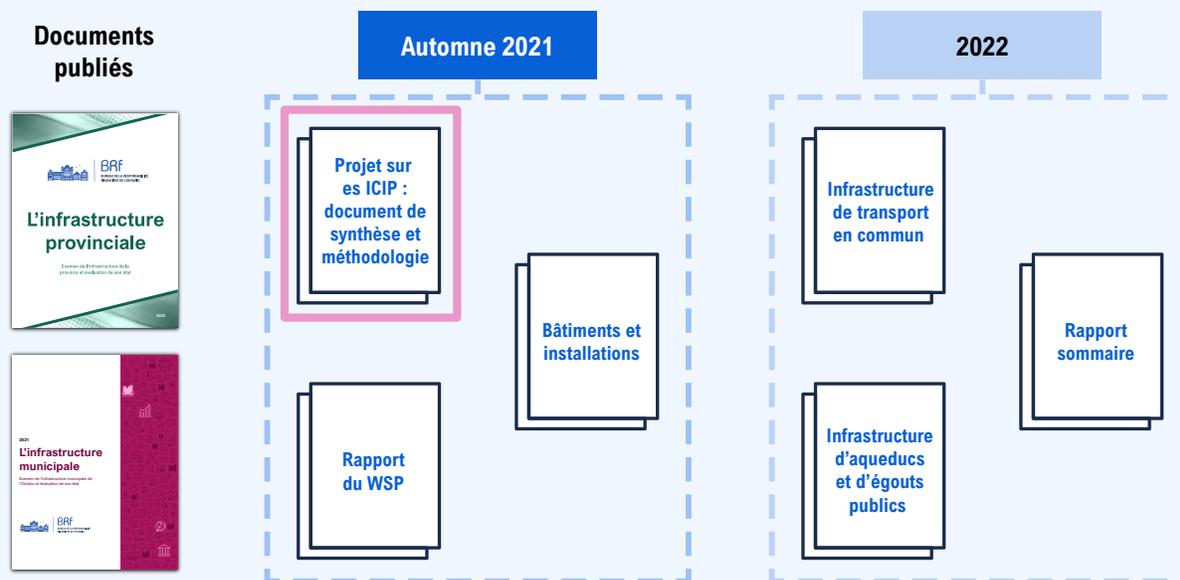
Pour mener à bien le projet sur les ICIP, le BRF s'est associé à Environnement et Changement climatique Canada et au WSP. Le WSP est un important cabinet d'ingénierie dont l'expertise s'étend à tous les aspects de l'infrastructure publique, notamment la gestion des biens d'infrastructure, la construction et l'exploitation d'infrastructures publiques et les impacts du changement climatique³³. Le WSP a été mandaté par le BRF pour faire les liens entre certains indicateurs climatiques pertinents et les principaux coûts pour l'infrastructure (ou « élasticités climatiques », consulter le chapitre 3 pour plus de détails). Environnement et Changement climatique Canada a fourni au BRF les projections régionales des indicateurs climatiques requis par les ingénieurs du WSP.

La troisième phase du projet sur les ICIP du BRF sera présentée en six rapports distincts :

1. Projet sur les ICIP : document de synthèse et méthodologie
2. Rapport d'ingénierie du WSP (Rapport préparé par le WSP décrivant la méthodologie et les justifications techniques qui sous-tendent les « élasticités des coûts liés au climat »)
3. Chiffrer les impacts des précipitations extrêmes, chaleur extrême et des cycles gel-dégel sur les bâtiments publics en Ontario
4. Chiffrer les impacts des précipitations extrêmes, chaleur extrême et des cycles gel-dégel sur l'infrastructure publique des transports en Ontario
5. Chiffrer les impacts des précipitations extrêmes sur l'infrastructure publique des eaux en Ontario
6. Rapport sommaire du projet sur les ICIP

Graphique 1-2

Projet sur les ICIP : structure du rapport



Source : BRF.

³³ Voir le [site Web](#) du WSP.

2 | Projection de l'effet des risques climatiques sur l'infrastructure publique

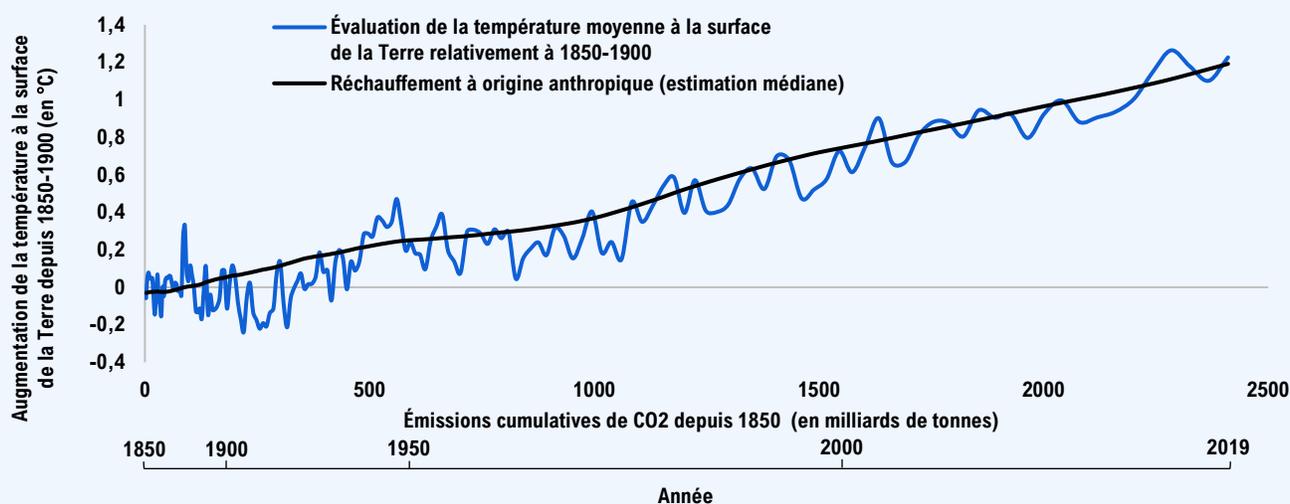
Sur fond de changement climatique, les infrastructures ontariennes sont exposées à des risques grandissants en lien avec les aléas climatiques, autant en raison d'épisodes extrêmes plus fréquents que de l'effet permanent de certains impacts. La gravité de ces impacts futurs dépendra de l'ampleur du réchauffement, qui sera presque entièrement tributaire de la vitesse à laquelle on réussira à diminuer nos émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale. Ce chapitre traite des divers scénarios de changement climatique mondial utilisés pour ce projet et des données relatives au changement climatique propres à l'Ontario. Il s'ensuit une réflexion sur les effets des risques climatiques majeurs sur l'infrastructure publique en Ontario ainsi que des raisons ayant motivé le BRF pour le choix des risques inclus dans cette étude. Enfin, à l'égard des risques retenus pour cette étude, ce chapitre présente les variables climatiques spécifiques utilisées pour faire une approximation des effets de ces risques, aborder les tendances clés qui s'y rattachent et évaluer le degré d'incertitude associé à ces tendances.

Les scénarios de changement climatique mondial

Il existe des preuves irréfutables que les émissions de gaz à effet de serre attribuables à l'activité humaine sont la principale cause des hausses de température inédites à l'échelle mondiale depuis le début de l'ère industrielle³⁴. Depuis la fin du 19^e siècle, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre a contribué à augmenter la température mondiale moyenne d'environ 1,1 °C³⁵.

Graphique 2-1

Les températures de surface mondiales ont augmenté parallèlement avec les émissions cumulatives de gaz carbonique



Source : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat³⁶.

³⁴ Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, section 2.

³⁵ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021, A.1.2.

³⁶ Ibid. Graphique SPM.10.

La hausse des températures moyennes sur la planète provoque le réchauffement de la surface des océans, la fonte des glaces de mer arctique, la hausse du niveau des océans, des vagues de chaleur, des sécheresses et des événements météorologiques extrêmes plus fréquents³⁷.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publie régulièrement des études sur le changement climatique qui se fondent sur les plus récentes données liées au climat et les dernières découvertes scientifiques. Le rapport de sciences physiques du sixième rapport d'évaluation du GIEC (AR6), publié en août 2021, démontre que les preuves d'un changement relativement aux extrêmes climatiques se multiplient depuis l'évaluation précédente, qui date de 2013³⁸.

À l'avenir, l'ampleur de l'augmentation des températures mondiales sera tributaire des émissions mondiales, qui à leur tour dépendront du taux de croissance de la population mondiale à long terme, de la croissance économique, de la quantité et de la nature de l'énergie consommée ainsi que du profil d'utilisation des terres, entre autres facteurs. Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC (AR5)³⁹ contient quatre scénarios RCP (Representative Concentration Pathways, ou trajectoires de concentration représentatives). Ces scénarios sont uniques en ce qu'ils se fondent sur des hypothèses de concentrations futures de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et chaque scénario est nommé d'après le degré de « forçage radiatif » atteint en 2100⁴⁰.

- RCP2.6 : Ce scénario de « faibles émissions » présume d'un changement radical et immédiat des politiques climatiques mondiales. On y projette un pic d'émissions pour le début des années 2020 et une élimination totale des émissions d'ici les années 2080 grâce à des politiques climatiques contraignantes. À la fin de ce siècle, les émissions nettes seraient négatives. Dans ce scénario, il est prévu que les températures moyennes mondiales augmenteront de 0,8 à 2,4 °C d'ici 2100, comparativement aux moyennes préindustrielles (afin de tenir compte de l'incertitude entre les modèles climatiques, toutes les projections des variables climatiques sont présentées sous forme de fourchettes)⁴¹.
- RCP4.5 : Ce scénario étudie l'hypothèse d'« émissions moyennes ». Il prévoit que les émissions mondiales atteindront un sommet dans les années 2040, déclineraient rapidement au cours des quatre décennies suivantes, pour se stabiliser au tournant du siècle. On prévoit que les températures moyennes sur la planète augmenteraient d'environ 1,7 °C pour atteindre 3,2 °C en 2100 comparativement à la moyenne préindustrielle.
- RCP6.0 : Dans ce scénario, qui prévoit des « émissions moyennes » plus importantes, les émissions mondiales atteignent un sommet en 2080 pour aller en diminuant au cours des deux décennies suivantes. On prévoit que les températures moyennes sur la planète augmenteraient d'environ 2,1 °C pour atteindre 3,8 °C en 2100 comparativement à la moyenne préindustrielle.
- RCP8.5 : Ce scénario d'« émissions élevées » part de l'hypothèse qu'aucun changement significatif n'est apporté aux politiques climatiques mondiales. On prévoit que les émissions continueraient de s'accroître au rythme actuel pendant une grande partie de ce siècle. On prévoit que les températures moyennes sur la planète augmenteraient d'environ 3,2 °C pour atteindre 5,4 °C comparativement à la moyenne préindustrielle.

Les émissions cumulatives de 2005 à 2020 correspondent le plus étroitement au scénario RCP8.5⁴².

³⁷ Ibid. A.1.

³⁸ Ibid. A.3.

³⁹ Voir : [Changements climatiques 2014 – rapport de synthèse](#), GIEC.

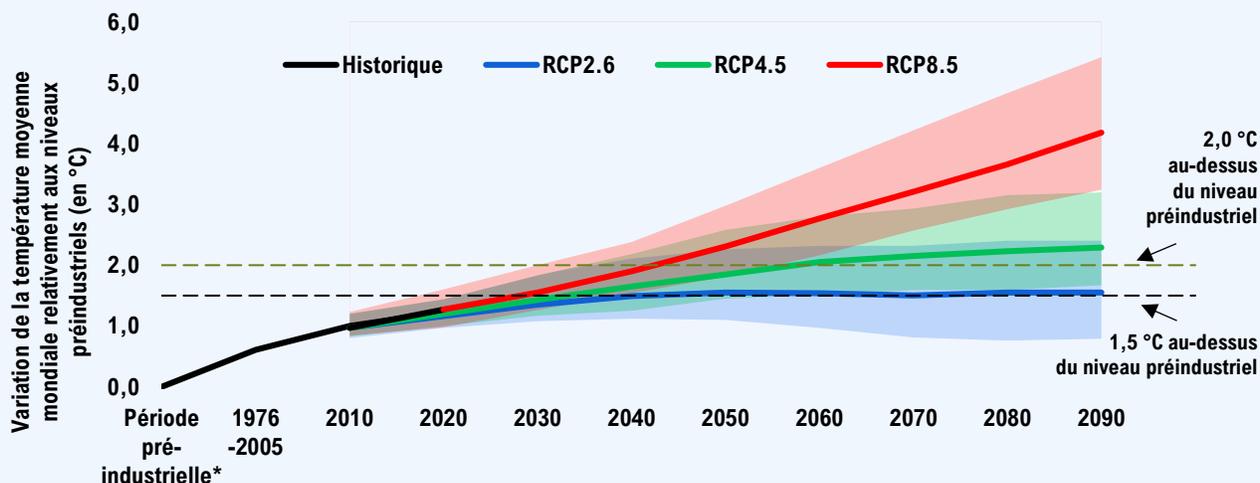
⁴⁰ À long terme, les températures mondiales sont affectées par la différence entre la quantité d'énergie radiante qui provient du soleil et la quantité d'énergie réfléchiée dans l'espace par radiation. Si la quantité d'énergie que reçoit la Terre est supérieure à celle qui s'en dégage, la planète se réchauffe graduellement. Des concentrations plus élevées de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ont pour effet de réduire la quantité d'énergie libérée par réflexion, ce qui induit un réchauffement climatique. Le « forçage radiatif » est le terme qu'on utilise pour décrire le changement énergétique causé par des facteurs humains ou naturels, dont les gaz à effet de serre, et se mesure en watts par mètre carré (W/m²). Par exemple, le « forçage radiatif » selon le scénario RCP8.5 atteint approximativement 8,5 W/m² d'ici 2100.

⁴¹ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013, All.7.5. Les fourchettes représentent les projections du 5^e percentile au 95^e percentile des modèles utilisés.

⁴² Pacific Climate Impacts Consortium, 2021.

Graphique 2-2

Augmentation de la température mondiale moyenne relativement à 1850-1900



*Base de référence historique : 1850-1900

Remarque : les zones ombrées montrent la fourchette des projections des 5^e et 95^e percentile.

Source : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat⁴³.

L'accord de Paris sur le climat (2016) a établi des cibles pour faire en sorte que la moyenne des températures mondiales augmente de moins de 2 °C par rapport aux moyennes de l'ère préindustrielle, et préconise des efforts visant à limiter cette hausse à 1,5 °C. Selon le GIEC, une augmentation de 1,5 °C des températures moyennes mondiales comparativement aux moyennes préindustrielles serait également associée à une série de conséquences néfastes pour la santé humaine, l'approvisionnement en eau et en nourriture ainsi que les écosystèmes vulnérables⁴⁴.

Selon tous les scénarios RCP, les températures mondiales devraient augmenter d'au moins 1,5 °C d'ici 2040 par rapport aux niveaux préindustriels. Même si le scénario d'émissions les plus faibles se concrétise, la poursuite du réchauffement est irréversible d'ici le milieu du siècle. Cela signifie que même si les concentrations de gaz à effet de serre et la température moyenne mondiale se stabilisent d'ici le milieu du siècle, le niveau de la mer continuera d'augmenter, les glaces continueront de fondre et la fréquence des événements météorologiques extrêmes devrait augmenter. D'une part, cela est dû aux défis liés à la réduction des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et, d'autre part, au fait que les océans et les calottes glaciaires mettent très longtemps à s'adapter aux nouvelles températures de surface. Au-delà de 2040, le rythme du changement climatique dépendra des émissions futures et des efforts mondiaux pour les maîtriser.

Aucune probabilité n'a été attribuée aux divers scénarios, cependant le « budget carbone » mondial (la quantité totale des émissions de gaz à effet de serre permise tout en limitant la hausse des températures en deçà de 1,5 °C, soit au-dessus des niveaux préindustriels) s'amenuise très rapidement. Parmi les scénarios du GIEC, seul le RCP2.6 présente une fourchette d'augmentation moyenne des températures mondiales sous le seuil de 1,5 °C⁴⁵, ce qui est à peu près conforme aux objectifs de l'Accord de Paris. Dans le scénario RCP4.5, les moyennes des températures mondiales augmentent de 1,5 à 2,8 °C au-dessus des moyennes préindustrielles dès les années 2060, pour atteindre de 1,7 à 3,2 °C en 2100.

⁴³ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013, All. 7.5. Les fourchettes ont été ajustées à la période de base préindustrielle.

⁴⁴ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2018.

⁴⁵ D'ici la fin du 21^e siècle, les températures moyennes mondiales d'après le RCP2.6 devraient augmenter de 0,8 à 2,4 °C par rapport aux niveaux préindustriels, avec une augmentation médiane de 1,6 °C. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013, tableau All.7.5. Les fourchettes ont été rajustées à la période de base préindustrielle.



Les données sur le changement climatique utilisées pour ce projet sur les ICIP

Bien que les processus climatiques soient étroitement interreliés sur la planète, les modèles mondiaux font des projections des variables climatiques à très grande échelle. Pour tenir compte de la topographie diverse de chaque région, ces projections mondiales doivent être « réduites » pour permettre des projections de changement climatique plus finement adaptées.

Pour s'assurer de la crédibilité des projections climatiques utilisées dans ce projet, le BRFC s'est associé au Centre canadien des services climatiques (CCSC), un bureau d'Environnement et Changement climatique Canada dont l'un des mandats consiste à soutenir les partenaires en quête de données sur le climat⁴⁶. Le CCSC⁴⁷ a produit des projections climatiques à l'aide de l'ensemble de données BCCAQv2⁴⁸, une source largement reconnue qui a été examinée par des pairs de manière transparente et utilisée abondamment au Canada, notamment pour le Rapport sur l'évolution du climat du Canada⁴⁹, les données accessibles sur ClimateData.ca et l'Atlas climatique du Canada⁵⁰. Le code source et les données résultantes sont accessibles sur demande auprès du CCSC.

Les sections suivantes traitent des données du CCSC en termes de scénarios RCP et d'incertitude de projection, de projections régionales et de référence historique utilisée dans le projet sur les ICIP, puis comparent les projections de températures moyennes de l'Ontario avec celles des moyennes mondiales.

Scénarios RCP et incertitude des projections climatiques

Les projections du CCSC étaient disponibles pour les scénarios RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5 mais pas pour RCP6.0⁵¹. Pour chacun des trois scénarios RCP disponibles, le CCSC a fourni des projections à partir de 24 des modèles mondiaux soutenant le cinquième rapport d'évaluation du GIEC (AR5)⁵². Dans chaque scénario RCP pour les futures concentrations mondiales de gaz à effet de serre, chacun de ces 24 modèles produit des projections légèrement différentes des variables climatiques en raison de la variabilité naturelle et des hypothèses différentes pour les processus climatiques au sujet desquels il existe des incertitudes scientifiques⁵³. Afin de tenir compte de l'incertitude entourant la réponse climatique future de la Terre dans chaque RCP, le CCSC a fourni la projection médiane (50^e percentile), la projection du 90^e percentile (au-dessous de laquelle 90 % des résultats du modèle se situent) et la projection du 10^e percentile (au-dessous de laquelle 10 % des résultats des modèles se trouvent) pour l'ensemble des 24 modèles mondiaux.

⁴⁶ Voir le [site Web](#) du Centre canadien des services climatiques.

⁴⁷ Le CCSC a extrait les données climatiques quotidiennes de l'ensemble de données BCCAQv2 pour les simulations de modèles climatiques individuels. Tout le traitement des données a été effectué par le CCSC sur un cluster de calcul Linux, principalement à l'aide des trousseaux de traitement Python « xarray » et « xclim » dans un environnement virtuel Python 3.8.

⁴⁸ L'ensemble de données BCCAQv2, ou l'ensemble de données de *correction de biais analogues/construits avec réorganisation de la cartographie quantile Version 2*, est un ensemble national de simulations de modèles climatiques statistiquement réduites (résolution environ 10 km) de la température et des précipitations basées sur le Projet d'intercomparaison de modèles couplés multimodèles 5. Pour de plus amples renseignements sur les méthodes de réduction, voir [Pacific Climate Impacts Consortium](#), [Climatedata.ca](#) ou [Des données climatiques pour assurer l'avenir du Canada](#).

⁴⁹ Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019.

⁵⁰ Voir le [site Web](#) de l'Atlas climatique du Canada.

⁵¹ Les prévisions pour le scénario RCP6.0 proviennent de moins de modèles que pour les autres scénarios. Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, page 131.

⁵² Voir : [Technical documentation: Statistically downscaled climate scenarios](#), gouvernement du Canada et [Donneesclimatiques.ca : À propos des données et des cartes BCCAQv2](#).

⁵³ Le sixième rapport d'évaluation du GIEC (AR6) contient cinq scénarios de changement socioéconomique mondial nommés Trajectoires socioéconomiques partagées (ou SSP, pour Shared Socioeconomic Pathways) qui ont été harmonisés avec les scénarios RCP du rapport AR5 en ce qui a trait au réchauffement moyen. Cela signifie que les constatations du milieu scientifique à l'égard du changement climatique futur rendent les scénarios RCP toujours pertinents. De plus, les projections mondiales des SSP n'ont pas encore été réduites à l'échelle des régions de l'Ontario. Pour toutes ces raisons, le projet sur les ICIP utilise les projections RCP tirées du cinquième rapport d'évaluation du GIEC.

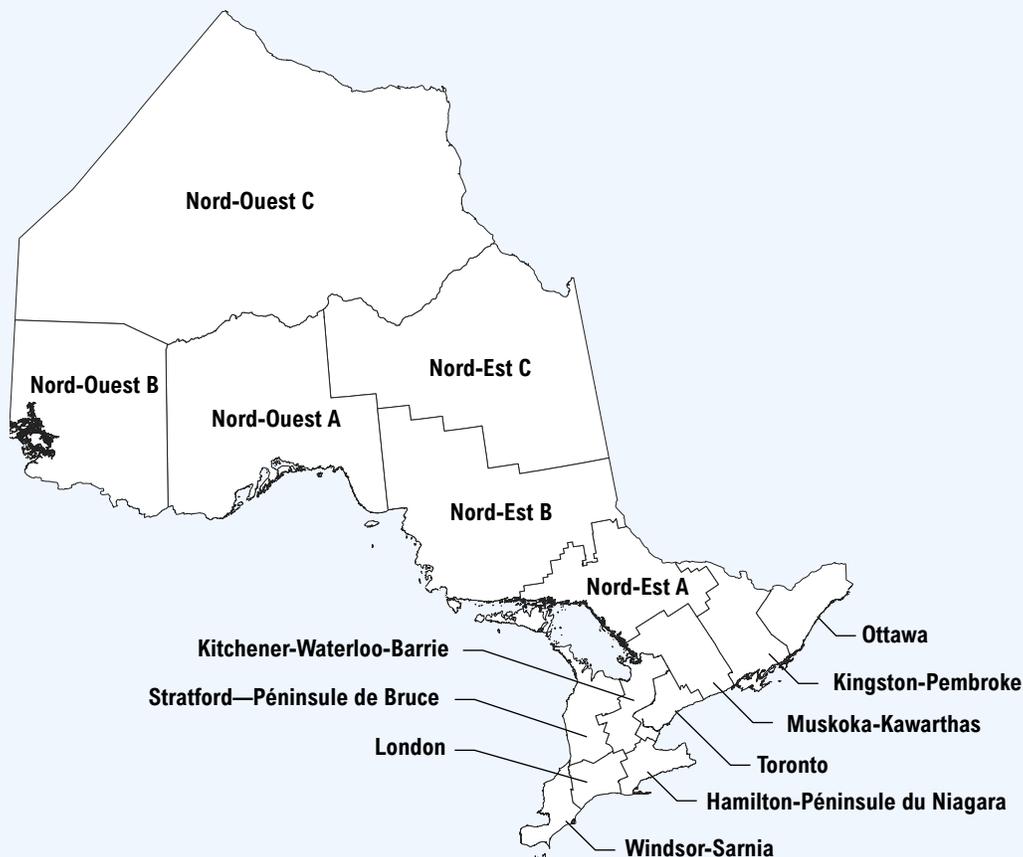
Au cours des dix dernières années, les émissions mondiales ont suivi de très près le RCP8.5⁵⁴, bien qu'il soit encore possible de restreindre le réchauffement à moins de 1,5 °C grâce à une action immédiate et vigoureuse. Pour simplifier la présentation dans les prochains rapports d'évaluation de coûts du BRF, le projet sur les ICIP se concentrera principalement sur les projections des scénarios RCP4.5 et RCP8.5, et présentera les impacts sous RCP2.6 à titre d'information de base⁵⁵.

Projections du climat régional du CCSC

La variabilité régionale du changement climatique implique que les infrastructures situées dans le sud de l'Ontario ne subiront pas les mêmes effets que celles qui se trouvent au nord de l'Ontario. Avec l'aide du CCSC, nous avons déterminé que d'établir des moyennes des projections de changement climatique pour 15 régions de l'Ontario permettrait de tenir compte adéquatement de la variabilité régionale. Ces régions ont été créées en se servant des régions économiques⁵⁶ conçues par Statistique Canada, et les régions du Nord-est et du Nord-ouest ont quant à elles été divisées en trois sous-régions en raison de leur grande étendue et de la variabilité de leur climat.

Graphique 2-3

Les projections climatiques conçues pour le projet sur les ICIP brossent un tableau des variations pour 15 régions économiques de l'Ontario



Source : Statistique Canada et BRF.

⁵⁴ Pacific Climate Impacts Consortium, 2021.

⁵⁵ De plus, la projection du 10^e percentile pour le RCP4.5 représente un niveau de réchauffement équivalent aux projections médianes du RCP2.6.

⁵⁶ Voir la définition des régions économiques de Statistique Canada.

Pour chaque région, le CCSC a produit des projections en fonction de toutes les variables climatiques requises par le projet sur les ICIP, et ce, pour les trois scénarios RCP. Pour tous les indices, à l'exception des indices de précipitations extrêmes, les données climatiques quotidiennes ont été traitées par modèle, par scénario climatique et par cellule de grille pour développer des séries chronologiques d'indices annuels, pour toutes les cellules de grille de l'ensemble de données BCCAQv2 relevant de chaque région économique. À la suite de ce traitement, les valeurs agrégées ont été déterminées sur une base annuelle et dans des fenêtres glissantes de 30 ans pour chaque scénario et région économique.

Les indices de précipitations extrêmes ont été calculés station par station, pour tous les emplacements des stations intensité-durée-fréquence (IDF) d'Environnement et Changement climatique Canada⁵⁷. Les indices de précipitations extrêmes (historiques) observés à ces stations ont été mis à l'échelle en fonction du changement de température climatologique annuel (30 ans) à l'emplacement correspondant en utilisant l'approche de mise à l'échelle basée sur la température de Clausius-Clapeyron⁵⁸.

En général, la capacité de rétention d'humidité de l'air augmente à mesure que l'air se réchauffe. La relation entre la température et la capacité de rétention d'eau de l'atmosphère est décrite par la relation Clausius-Clapeyron, qui indique que les précipitations extrêmes devraient augmenter d'environ 7 % pour chaque augmentation de 1 °C de la température moyenne.

Une fois que les courbes IDF de chaque station sont projetées, les résultats ont été agrégés au niveau de la région économique et des valeurs de station représentatives ont été déterminées pour les 10^e, 50^e et 90^e percentiles des valeurs de station dans chaque région économique⁵⁹.

Référence historique pour le projet sur les ICIP

Pour évaluer l'effet de l'activité humaine sur le climat mondial, le GIEC compare généralement les émissions et les augmentations de température par rapport à l'ère préindustrielle, définie comme la période 1850-1900 (voir les graphiques 2-1 et 2-2 ci-dessus). Cependant, l'objectif du projet sur les ICIP est d'évaluer comment des changements de variables climatiques pourraient avoir un impact sur les coûts d'infrastructure à l'avenir par rapport au passé récent. Par conséquent, la référence historique pour les ICIP est définie comme la période allant de 1976 à 2005, car une partie importante de l'infrastructure publique actuelle de l'Ontario a été construite et conçue pour le climat de cette période et parce que les données climatiques régionales à échelle réduite du CCSC pour l'Ontario sont disponibles à partir de 1950. Toutes les données d'analyses climatiques à venir dans ce rapport et dans les rapports suivants utiliseront la période 1976-2005 comme référence historique⁶⁰.

⁵⁷ Voir la [carte](#) des stations IDF sur [donneesclimatiques.ca](#).

⁵⁸ L'approche Clausius-Clapeyron est décrite dans Groupe CSA, 2019.

⁵⁹ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020, chapitre 4.2.

⁶⁰ Approximativement 0,6 °C du réchauffement anthropogénique est survenu entre l'époque préindustrielle et la moyenne de 1976-2005 tant pour la moyenne mondiale que pour les températures moyennes en Ontario.

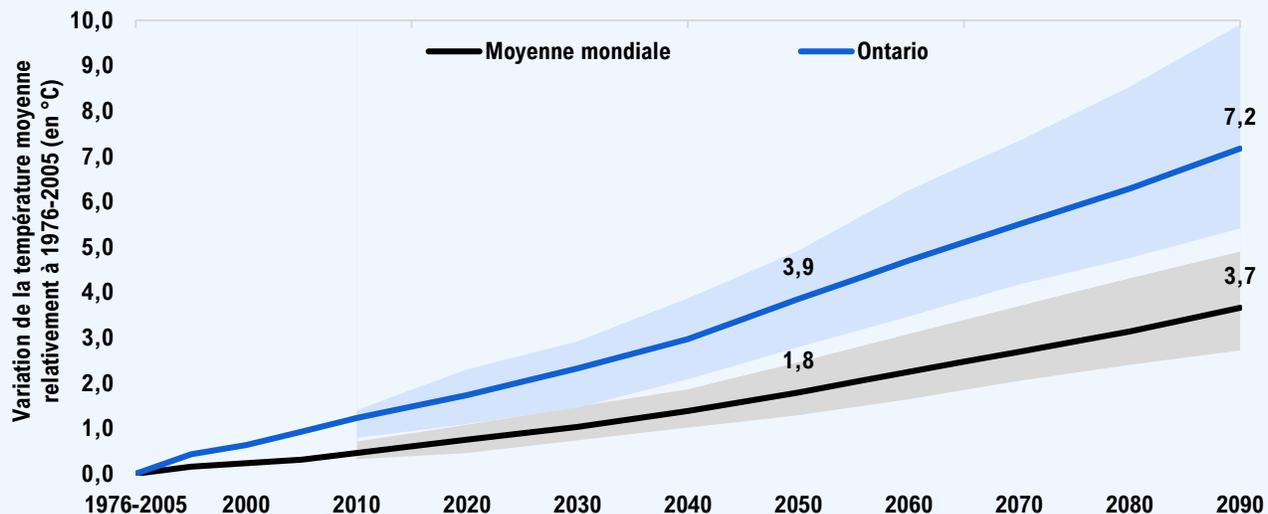
On prévoit que la température moyenne en Ontario augmentera plus rapidement que la moyenne mondiale

Les projections du CCSC indiquent que la température moyenne annuelle de l'Ontario aura augmenté d'environ 1,6 °C entre 1950 et 2019, plus rapidement que le réchauffement global moyen de la planète⁶¹. Cette tendance reflète un réchauffement plus rapide à proximité des pôles de la planète, en partie en raison des rétroactions climatiques régionales⁶². De plus, les températures en Ontario ont davantage augmenté l'hiver que pendant les saisons plus tempérées⁶³. La proportion des précipitations sous forme de neige a grandement fléchi, et les précipitations sous forme de pluie qui les ont remplacées affectent le cours des rivières et des ruisseaux⁶⁴. Parmi les autres changements observés en Ontario, on note la diminution de la couverture de neige et de l'accumulation saisonnière de neige ainsi qu'une fonte des glaces hâtive et un gel des lacs plus tardif.

La température moyenne en Ontario va continuer d'augmenter à un rythme plus rapide que la moyenne mondiale à cause des mêmes rétroactions climatiques que celles observées dans le passé. Par exemple, dans le scénario RCP8.5, il est prévu que la température moyenne mondiale augmentera de 1,3 à 2,5 °C d'ici le milieu du siècle comparativement à la moyenne observée de 1976 à 2005⁶⁵, ce qui se traduit par une augmentation de 2,8 à 4,9 °C de la température annuelle moyenne en Ontario⁶⁶.

Graphique 2-4

Prévision d'une augmentation plus rapide de la température moyenne en Ontario que de la température moyenne mondiale dans le scénario RCP8.5



Remarque : Les zones ombragées montrent la fourchette des projections des 5^e et 95^e percentiles pour la moyenne mondiale, et la fourchette des projections des 10^e et 90^e percentiles pour l'Ontario.

Source : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat⁶⁷ et Centre canadien des services climatiques.

⁶¹ Le réchauffement global moyen a augmenté d'environ 1,1 °C de 1950 à 2019. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021, graphique SPM.1.

⁶² Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, section 2.

⁶³ Ibid, chapitre 4.

⁶⁴ Ibid, chapitre 5.

⁶⁵ Les graphiques 2-2 et 2-4 utilisent les mêmes données pour les températures moyennes mondiales. Les changements de température du graphique 2-2 sont exprimés au regard de la période allant de 1850 à 1900 pour pouvoir débattre des seuils de température clés à l'échelle mondiale. Les changements de température du graphique 2-6 sont exprimés au regard de la période allant de 1976 à 2005 pour fins de comparaison avec les données du CCSC pour l'Ontario.

⁶⁶ Ces chiffres concordent approximativement avec ceux trouvés dans Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020. Graphique 2.4.

⁶⁷ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013, All.7.5. Les fourchettes ont été ajustées à la période de base préindustrielle.

Risques climatiques inclus dans le projet sur les ICIP

Le changement climatique est associé à de nombreuses menaces pour les infrastructures publiques, qui peuvent prendre la forme d'événements météorologiques extrêmes ou de tendances à long terme pouvant avoir un impact sur la dépréciation des biens. L'Ontario a été sujet à des inondations et à des tempêtes de verglas coûteuses et est également sujet à des sécheresses, des précipitations intenses, des incendies de forêt, des tempêtes de vent, des vagues de chaleur et la fonte du pergélisol⁶⁸. Il n'a pas été possible d'inclure tous les risques climatiques pour les infrastructures publiques dans ce rapport en raison de la disponibilité de projections crédibles, de la pertinence de risques spécifiques pour les infrastructures provinciales et municipales (voir le chapitre 3 : « Périmètre des biens d'infrastructure publique inclus dans le projet sur les ICIP »), ainsi que des contraintes de ressources propres au BRF. Pour déterminer quels risques climatiques y inclure, le BRF a choisi de se concentrer sur ceux qui ont des impacts importants et matériels sur les infrastructures provinciales et municipales et ceux qui ont un lien étroit avec les variables climatiques qui peuvent être projetées avec une confiance scientifique raisonnable. Cette section recense brièvement les principaux dangers liés à l'infrastructure publique en Ontario et présente les raisons qui ont mené au choix des dangers inclus dans le projet sur les ICIP.

Les événements de chaleur extrême sont des périodes prolongées de températures élevées qui endommagent les parties exposées des bâtiments et des routes et accélèrent la détérioration des infrastructures de transport. Comme les températures élevées extrêmes augmentent en fréquence et en durée, les vagues de chaleur s'intensifieront. Compte tenu de la grande confiance que la communauté scientifique⁶⁹ accorde aux projections de température et de l'impact potentiel de ce risque sur un large éventail d'infrastructures publiques, les vagues de chaleur sont incluses dans le projet sur les ICIP.

Les feux de forêt peuvent être déclenchés de multiples façons et sont exacerbés par des conditions sèches et venteuses et des températures chaudes. Dans les cas graves où des zones habitées sont touchées, les feux de forêt peuvent endommager et détruire tous les types d'infrastructures. La projection du risque futur de feux de forêt est difficile en raison des interactions complexes entre les variables de la température et des précipitations; de plus, il existe un degré élevé d'incertitude quant à la manière dont les fluctuations de ces variables peuvent affecter la teneur en humidité de la forêt ou les inducteurs de combustion. Par conséquent, ce risque n'est pas inclus dans le projet sur les ICIP.

Des précipitations extrêmes, ou des précipitations intenses sur une courte période, peuvent causer des dégâts d'eau aux bâtiments et mettre à rude épreuve les infrastructures d'eau et d'eaux pluviales. Les précipitations extrêmes seront plus fréquentes à mesure que les précipitations de courte durée augmenteront. Étant donné que les fortes précipitations sont directement représentées par des variables de précipitations extrêmes et ont un impact majeur sur un large éventail d'infrastructures, ce risque est inclus dans le projet sur les ICIP.

- Il convient de noter que si les impacts des crues pluviales sont inclus dans ce risque, les impacts des rivières en crue (c'est-à-dire les crues fluviales) ne sont pas inclus en raison des liens complexes entre les pluies extrêmes et les crues fluviales, ainsi que le manque de cartes des plaines inondables publiquement accessibles pour de nombreux bassins versants de l'Ontario.

⁶⁸ L'Institut international du développement durable, 2021.

⁶⁹ Le degré de confiance scientifique dans les projections climatiques diffère selon la variable. En général, les projections de température bénéficient de la confiance des scientifiques en raison du grand nombre de preuves quant aux causes des changements observés et d'une solide compréhension des processus climatiques impliqués. La confiance accordée par les scientifiques aux projections de précipitations peut être qualifiée de moyenne en raison d'observations inadéquates pour certaines variables historiques et d'une incertitude associée à un effet observé plus faible que prévu du réchauffement climatique sur les précipitations. D'autres variables climatiques telles que les pressions du vent et la charge de neige sont moins fiables scientifiquement en raison d'une compréhension limitée des processus climatiques impliqués. Pour en savoir plus, voir Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020.

Les tempêtes de verglas ou les précipitations verglaçantes extrêmes peuvent endommager les bâtiments et les infrastructures de transport et augmenter les charges structurelles avec l'accumulation de la glace. Les précipitations totales devraient augmenter, mais l'augmentation des températures moyennes et des saisons froides de plus courte durée rend la tendance pour les tempêtes de verglas difficile à cerner. Les données climatiques liées à la charge de neige et à l'accumulation de glace sont également sujettes à inspirer peu confiance aux scientifiques. Compte tenu de ces considérations, ce danger est exclu du projet sur les ICIP.

Les tempêtes de vent peuvent endommager les revêtements extérieurs et les toitures des bâtiments. Puisque les observations historiques pour les pressions et la vitesse du vent de courte durée sont limitées et inspirent peu confiance aux scientifiques⁷⁰, les tempêtes de vent sont exclues du projet sur les ICIP.

Les sécheresses sont des périodes prolongées aux précipitations inférieures à la moyenne, qui sont parfois accompagnées de températures élevées et qui peuvent mettre à rude épreuve les infrastructures en augmentant la demande en eau. La hausse des températures moyennes pourrait conduire à des sécheresses plus généralisées et plus fréquentes, mais aussi à une augmentation des précipitations moyennes et extrêmes⁷¹. Les sécheresses ne sont que partiellement liées aux variables des températures extrêmes et pourraient avoir un impact limité sur la plupart des types d'infrastructures publiques, elles sont donc exclues du projet sur les ICIP.

La dégradation du pergélisol peut affaiblir les fondations des bâtiments et des routes, en plus de rompre les canalisations souterraines. La part des infrastructures provinciales et municipales situées dans les zones de pergélisol est faible, mais les conséquences de ces impacts peuvent être importantes pour les collectivités du Grand Nord de l'Ontario. Bien que les scientifiques témoignent d'une grande confiance envers les projections d'augmentations moyennes de la température de l'air sur les grandes zones de pergélisol de l'Ontario, il n'en va pas de même pour la projection des réductions de l'étendue du pergélisol qui y sont liées en raison de la représentation inadéquate des propriétés des sols dans les modèles climatiques⁷². Par conséquent, ce danger a été exclu du projet sur les ICIP. De même, alors que les impacts de la hausse du niveau de la mer dans la baie d'Hudson seront très importants pour les collectivités du Nord, ce danger a été exclu en raison de la faible proportion d'infrastructures provinciales et municipales situées dans ces zones.

Enfin, les cycles de gel-dégel sont les fluctuations de la température de l'air au-dessus et en dessous du point de congélation (0 °C) qui ont un impact sur un large éventail d'infrastructures. Ces changements de température peuvent endommager les structures et les enveloppes des bâtiments ainsi que les ponts. Dans un contexte d'augmentation des précipitations sous forme de pluie, l'eau peut également s'infiltrer dans les fondations des routes et causer des dommages importants. Si les cycles de gel-dégel représentent un phénomène plus complexe à projeter parce qu'ils exigent de combiner de multiples variables climatiques (voir notre analyse à la page 22), les scientifiques ont un degré de confiance élevé envers les données de température et de précipitation sous-jacentes. Par conséquent, ce danger est inclus dans le projet sur les ICIP.

En résumé, le projet sur les ICIP du BRF se concentre sur les chaleurs extrêmes, les précipitations extrêmes et les cycles de gel-dégel. Ces trois risques climatiques peuvent avoir des impacts financiers et matériels importants sur les infrastructures publiques et il est possible de faire des projections à l'aide de variables climatiques qui inspirent un degré raisonnable de confiance au sein de la communauté scientifique.

⁷⁰ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020, chapitre 5.

⁷¹ Voir les graphiques SPM.3 et SPM.5 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021.

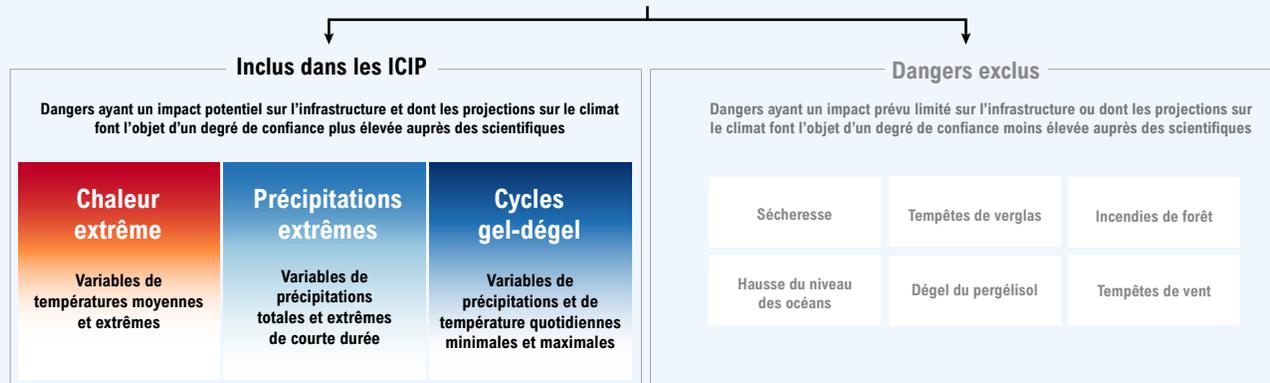
⁷² Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, page 239.



Graphique 2-5

Risques climatiques inclus dans le projet sur les ICIP

Dangers climatiques



Source : BRF.

Principales tendances des cycles de température, de pluie et de gel-dégel en Ontario

L'évolution future des risques climatiques pour les infrastructures publiques peut être estimée en examinant les projections de variables climatiques spécifiques. Pour chacun des trois risques climatiques examinés par le projet sur les ICIP, il existe de nombreux indicateurs climatiques parmi lesquels choisir. Cette section décrit certains des indicateurs climatiques clés utilisés dans le projet sur les ICIP pour représenter les trois dangers, leurs principales tendances en Ontario et le degré de confiance associé à ces tendances. Le chapitre 3 explique comment ces projections sont utilisées pour estimer l'impact sur les coûts d'infrastructure et le rapport du WSP présente la justification technique pour la sélection de l'indicateur climatique le plus approprié pour chaque utilisation spécifique.

Chaleurs extrêmes

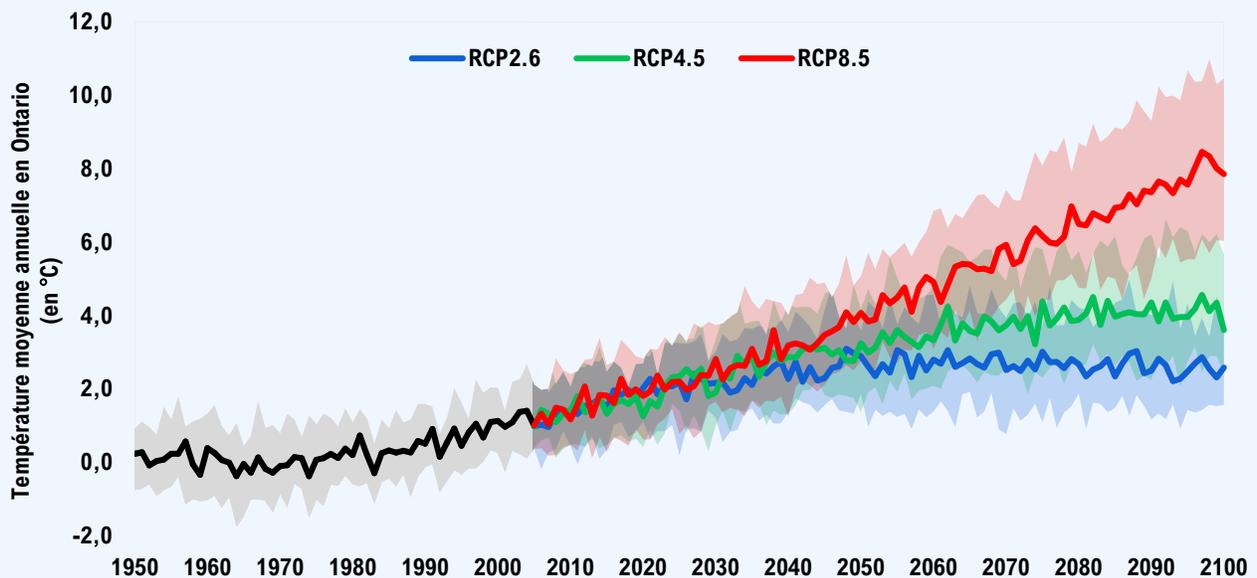
Tous les scénarios « profils représentatifs d'évolution de concentration » (Representative Concentration Pathway ou RCP) prévoient qu'à l'avenir les températures de l'Ontario seront plus chaudes. Cependant, les projections indiquent que les températures moyennes de l'Ontario diffèrent considérablement selon les scénarios d'émissions faibles ou élevées. En comparaison avec la moyenne de 1976 à 2005, les températures moyennes annuelles en Ontario au cours de la période de 2071 à 2100 devraient être 2,0 °C plus élevées (1,4 à 3,1 °C)⁷³ selon le RCP2.6, 3,3 °C plus élevées (2,2 à 4,9 °C) selon le RCP4.5 et 6,3 °C plus élevées (4,8 à 8,5 °C) selon le RCP8.5.

⁷³ Pour tenir compte de l'incertitude des projections climatiques et conformément à la pratique courante en climatologie, les projections médianes (50^e percentile) des variables climatiques sont présentées, suivies de fourchettes entre parenthèses. Les fourchettes reflètent les projections des 10^e et 90^e percentiles de l'ensemble des 24 modèles climatiques utilisés par le CCSC.



Graphique 2-6

Température moyenne annuelle, moyenne de l'Ontario

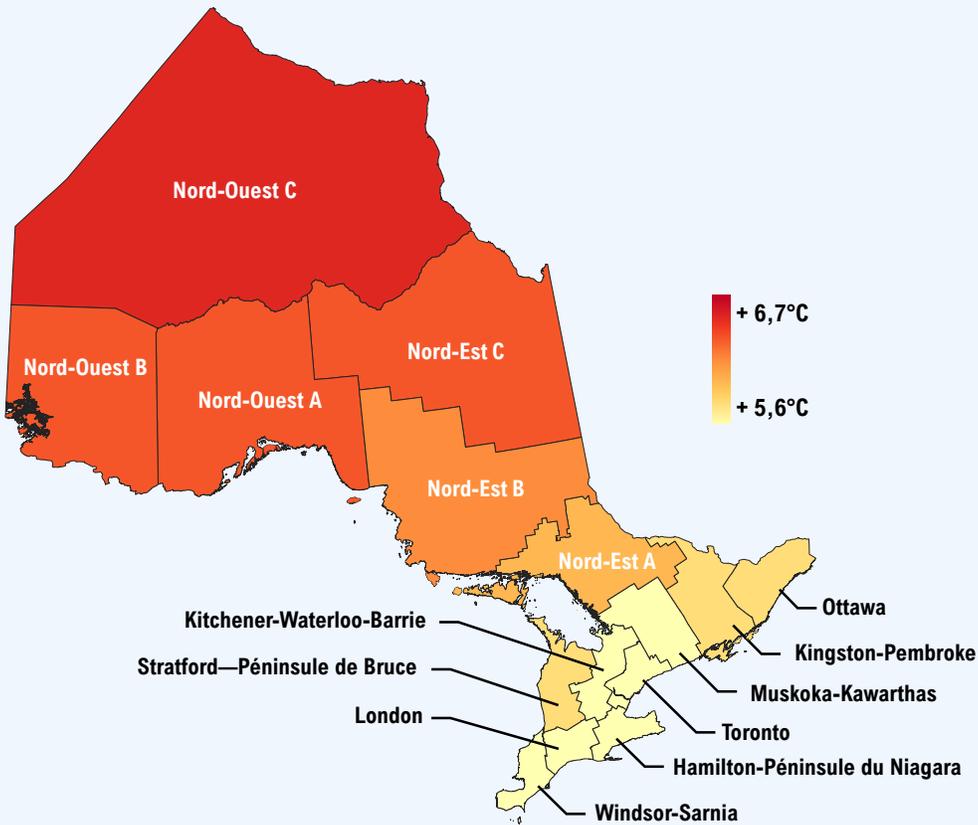


Remarque : les zones ombrées montrent la fourchette des projections des 10^e et 90^e percentile.
 Source : Centre canadien des services climatiques.

Les températures devraient augmenter plus rapidement dans le nord de l'Ontario que dans le sud. Cette disparité résulte des rétroactions climatiques régionales, comme la diminution du degré de réflectivité de la neige et de la glace. Dans le nord de l'Ontario, selon le RCP8.5, la température moyenne annuelle, au cours de la période de 2071 à 2100, devrait augmenter de 6,7 °C (5,0 à 8,8 °C), comparativement à une augmentation de 5,6 °C (4,3 à 6,9 °C) dans la région de Windsor-Sarnia. Alors que le sud de l'Ontario devrait se réchauffer légèrement plus lentement que le nord, il se réchauffe néanmoins plus rapidement que la moyenne mondiale. En outre, les températures moyennes hivernales en Ontario augmentent plus rapidement que les températures moyennes estivales.

Graphique 2-7

Variation médiane prévue des températures moyennes annuelles de 1976-2005 à 2071-2100, RCP8.5



Remarque : La distribution des couleurs est basée sur la projection médiane multimodèle.
 Source : Centre canadien des services climatiques.

Les températures extrêmes quotidiennes augmenteront à un rythme similaire aux températures moyennes. En comparaison avec la moyenne de 1976 à 2005, les maximales quotidiennes annuelles au cours de la période de 2071 à 2100 devraient être 2,0 °C plus élevées (0,9 à 2,8 °C) selon le RCP2.6, 3,4 °C plus élevées (2,3 à 4,2 °C) selon le RCP4.5 et 6,5 °C plus élevées (4,1 à 7,5 °C) selon le RCP8.5.

Les températures chaudes extrêmes dureront plus longtemps et se produiront plus fréquemment. En comparaison avec la moyenne de 1976 à 2005, on prévoit que le nombre annuel de journées chaudes⁷⁴ augmentera de 5 jours (2 à 10 jours) selon le RCP2.6, de 13 jours (6 à 18 jours) selon le RCP4.5 et de 34 jours (17 à 46 jours) selon le RCP8.5 d'ici 2071-2100. Dans le même ordre d'idées, on prévoit que les⁷⁵ augmenteront de 71 °C-jours (37 à 117 °C-jours) selon le RCP2.6, de 161 °C-jours (86 à 212 °C-jours) selon le RCP4.5 et de 381 °C-jours (225 à 515 °C-jours) selon le RCP8.5.

⁷⁴ Nombre de jours au cours d'une année où la température maximale quotidienne est supérieure à 30 °C.

⁷⁵ Total annuel des degrés Celsius lorsque la température quotidienne est supérieure à 18 °C. Une hausse des températures moyennes lors des jours plus frais se traduit par une augmentation des besoins en climatisation.

Tableau 2-1

Variation projetée de certaines variables de chaleur extrême de 1976-2005 à 2071-2100, moyenne de l'Ontario

Variable	Définition	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Température quotidienne moyenne annuelle	Température moyenne annuelle estimée à partir des températures quotidiennes	+ 2,0 °C (+ 1,4 à 3,1 °C)	+ 3,3 °C (+ 2,2 à 4,9 °C)	+ 6,3 °C (+ 4,8 à 8,5 °C)
Nombre annuel de journées chaudes	Nombre annuel de journées où la température maximale quotidienne excède 30 °C	+ 5 jours (+ 2 à 10 jours)	+ 13 jours (+ 6 à 18 jours)	+ 34 jours (+ 17 à 46 jours)
Température annuelle la plus élevée	Température maximale quotidienne la plus élevée durant l'année	+ 2,0 °C (+ 0,9 à 2,8 °C)	+ 3,4 °C (+ 2,3 à 4,3 °C)	+ 6,5 °C (+ 4,1 à 7,5 °C)
Température quotidienne maximale moyenne en juillet	Moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes en juillet	+ 1,8 °C (+ 0,9 à 2,5 °C)	+ 3,6 °C (+ 1,9 à 3,8 °C)	+ 6,5 °C (+ 4,0 à 7,9 °C)
2,5 % des températures maximales quotidiennes en juillet	97,5 ^e percentile de la distribution des températures maximales quotidiennes en juillet	+ 1,9 °C (+ 0,9 à 2,8 °C)	+ 3,4 °C (+ 2,4 à 4,3 °C)	+ 6,5 °C (+ 4,3 à 7,6 °C)
Le nombre annuel de degrés-jours de réfrigération	La somme annuelle de degrés quotidiens au-dessus de 18 °C	+ 71 °C-jours (+ 37 à 117 °C-jours)	+ 161 °C-jours (+86 à 212 °C-jours)	+ 381 °C-jours (+225 à 515 °C-jours)

Remarque : les chiffres ont été arrondis. Les projections médianes (50^e percentile) des variables climatiques sont présentées d'abord, suivies par les fourchettes entre parenthèses. Les fourchettes montrent les projections des 10^e et 90^e percentile.
Source : Centre canadien des services climatiques.

En général, les projections de tendances et de fourchettes de variables de température sont dignes de confiance sur la base de preuves scientifiques solides quant aux causes des changements observés⁷⁶.

Précipitations extrêmes

Canada. De 1948 à 2012, elles ont augmenté de 9,7 %, comparativement à 18,3 % pour l'ensemble du Canada⁷⁷. Concernant les précipitations extrêmes sur des périodes plus courtes, les observations sont encore incohérentes. Les précipitations extrêmes de courte durée, par exemple, celles sur une période de 24 heures n'indiquent aucune tendance concluante⁷⁸.

Globalement, les précipitations devraient augmenter en Ontario. Par rapport à la moyenne de 1976 à 2005, les précipitations totales annuelles projetées pour la période de 2071 à 2100 devraient être 7,1 % (4,0 à 7,8 %) plus élevées selon le RCP2.6, 9,8 % (4,4 à 10,3 %) plus élevées selon le RCP4,5 et 15,0 % (6,2 % à 18,2 %) plus élevées selon le RCP8.5. Étant donné que les précipitations sont généralement plus faibles dans le Nord que dans le Sud, l'augmentation en pourcentage des précipitations moyennes est plus importante dans le nord de l'Ontario.

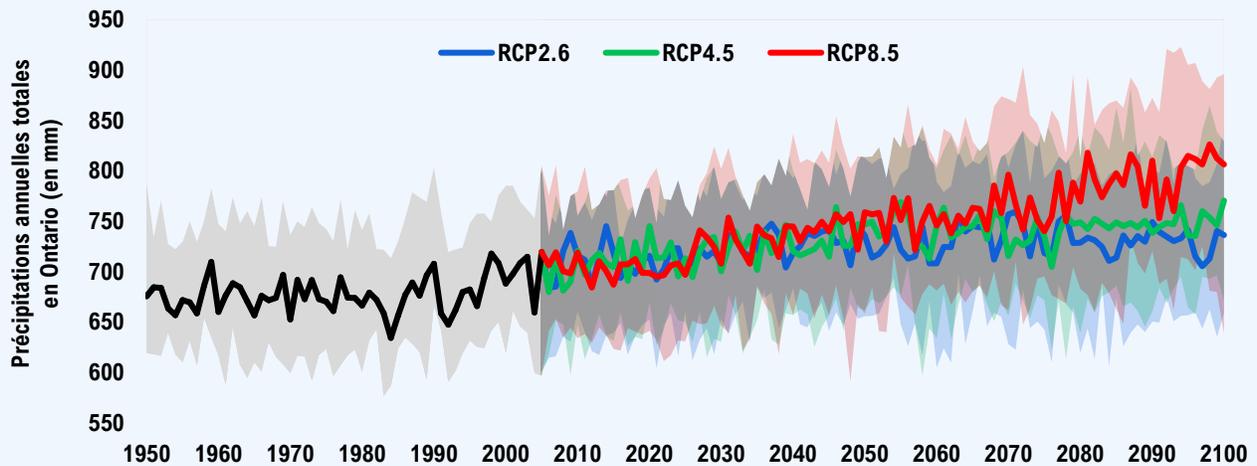
⁷⁶ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020, section 1.2.

⁷⁷ Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, tableau 4.4.

⁷⁸ Ibid, page 168.

Graphique 2-8

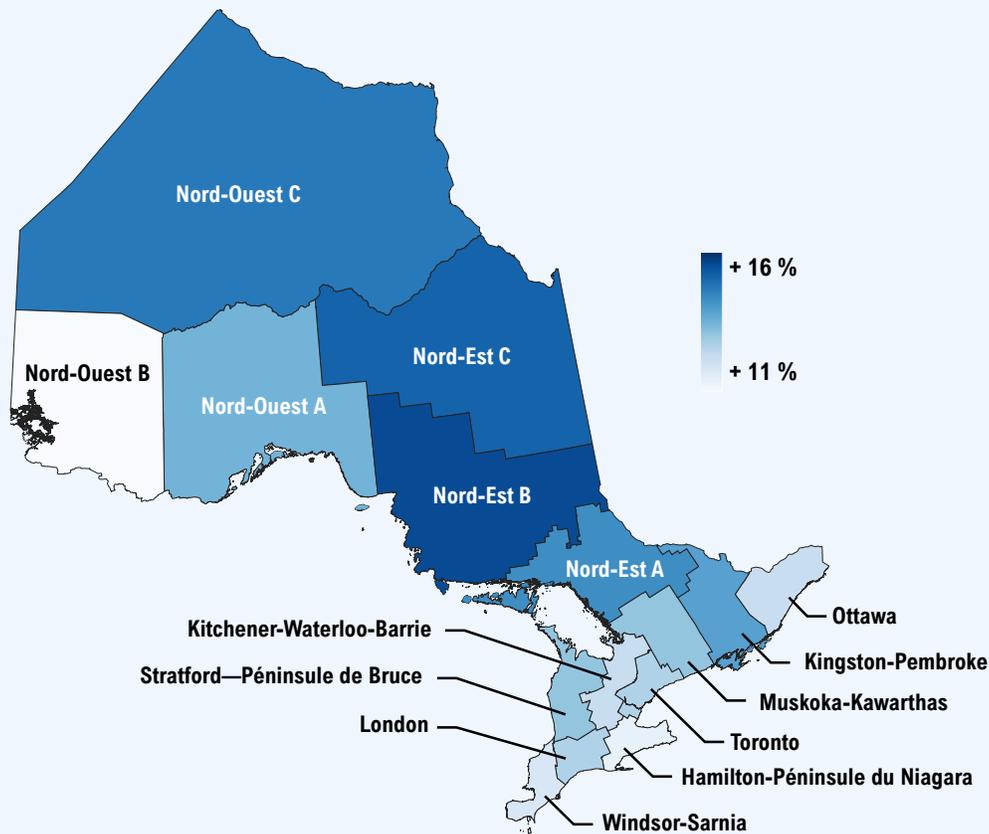
Précipitations annuelles totales, moyenne de l'Ontario



Remarque : les zones ombrées montrent la fourchette des projections des 10^e et 90^e percentile.
 Source : Centre canadien des services climatiques.

Graphique 2-9

Variation médiane projetée des précipitations annuelles totales de 1976-2005 à 2071-2100, tirée du RCP8.5



Remarque : La distribution des couleurs est basée sur la projection médiane multimodèle.
 Source : Centre canadien des services climatiques.

Parallèlement à l'augmentation du total des précipitations, les précipitations extrêmes de courte durée devraient également s'intensifier. Les courbes intensité-durée-fréquence (IDF) sont une représentation graphique de la probabilité qu'un certain niveau de précipitations est atteint. Elles jouent un rôle important dans l'ingénierie des ressources en eau pour décrire l'ampleur des événements de précipitations extrêmes (comme un événement qui ne se produit qu'une fois par siècle) et aider à la conception de systèmes de drainage urbain. Par exemple, l'IDF 15 minutes 1:10 représenterait l'intensité maximale de précipitations en 15 minutes qui ne devrait se produire qu'une seule fois en dix ans.

Les projections du CCSC indiquent que toutes les intensités de précipitations historiques de l'IDF augmenteront de 14,6 % (entre 9,8 et 23,5 %) d'ici la fin du siècle par rapport à la période 1976-2005 selon le RCP2.6, de 24,9 % (entre 16,1 et 39,4 %) selon le RCP4.5 et de 53,0 % (entre 38,0 et 78,2 %) selon le RCP8.5.

Tableau 2-2

Projections de la variation en pourcentage de certaines variables de 1976-2005 à 2071-2100 liées aux précipitations extrêmes, moyenne de l'Ontario⁷⁹

Variable	Définition	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Précipitations totales annuelles	Quantité totale de précipitations reçues annuellement	+ 7,1 (+ 4,0 à 7,8)	+ 9,8 (+ 4,4 à 10,3)	+ 15,0 (+ 6,2 à 18,2)
Précipitations maximales sur 5 jours	Quantité maximale de précipitations reçue pendant cinq jours consécutifs au cours d'une année	+ 8,7 (+ 7,6 à 11,5)	+ 11,0 (+ 9,3 à 13,6)	+ 18,7 (+ 12,5 à 19,5)
IDF 15 min. 1:10	Intensité des précipitations de courte durée (15 minutes), 1 fois en 5 ans	+ 14,6 (+ 9,8 à 23,5)	+ 24,9 (+ 16,1 à 39,4)	+ 53,0 (+ 38,0 à 78,2)
IDF 24 heures 1:2	Intensité des précipitations de courte durée (24 heures), 1 fois en 2 ans	+ 14,6 (+ 9,8 à 23,5)	+ 24,9 (+ 16,1 à 39,4)	+ 53,0 (+ 38,0 à 78,2)
IDF 24 heures 1:5	Intensité des précipitations de courte durée (24 heures), 1 fois en 5 ans	+ 14,6 (+ 9,8 à 23,5)	+ 24,9 (+ 16,1 à 39,4)	+ 53,0 (+ 38,0 à 78,2)
IDF 24 heures 1:10	Intensité des précipitations de courte durée (24 heures), 1 fois en 10 ans	+ 14,6 (+ 9,8 à 23,5)	+ 24,9 (+ 16,1 à 39,4)	+ 53,0 (+ 38,0 à 78,2)
IDF 24 heures 1:100	Intensité des précipitations de courte durée (24 heures), 1 fois en 100 ans	+ 14,6 (+ 9,8 à 23,5)	+ 24,9 (+ 16,1 à 39,4)	+ 53,0 (+ 38,0 à 78,2)

Remarque : les chiffres ont été arrondis. Les projections médianes (50^e percentile) des variables climatiques sont présentées d'abord, suivies par les fourchettes entre parenthèses. Les fourchettes montrent les projections des 10^e et 90^e percentile.

Source : Centre canadien des services climatiques

⁷⁹ Pour les variables IDF, les variations en pourcentage pour chaque scénario RCP sont identiques, car la même projection de température moyenne est utilisée dans la relation Clausius-Clapeyron pour estimer les projections.

Les projections des variables globales des précipitations (précipitations totales annuelles et précipitations maximales sur 5 jours) sont associées à un niveau de confiance élevé à moyen. Toutes les projections des modèles indiquent une tendance positive de ces variables, mais les processus climatiques impliqués sont plus incertains⁸⁰ que dans le cas des variables de température.

Au chapitre des variables de précipitations extrêmes (variables IDF), on note une confiance modérée dans la moyenne des projections pour l'Ontario, mais les projections régionales comportent des incertitudes supplémentaires en raison de précipitations extrêmes à des endroits spécifiques sur de courtes périodes. Comme les courbes IDF historiques ne suffisent pas à elles seules pour évaluer les précipitations extrêmes futures, il a été déterminé que la mise à l'échelle de la température à l'aide de la relation Clausius-Clapeyron est utile pour projeter ces variables, l'approche est cependant sujette à des incertitudes régionales.

Cycles de gel-dégel

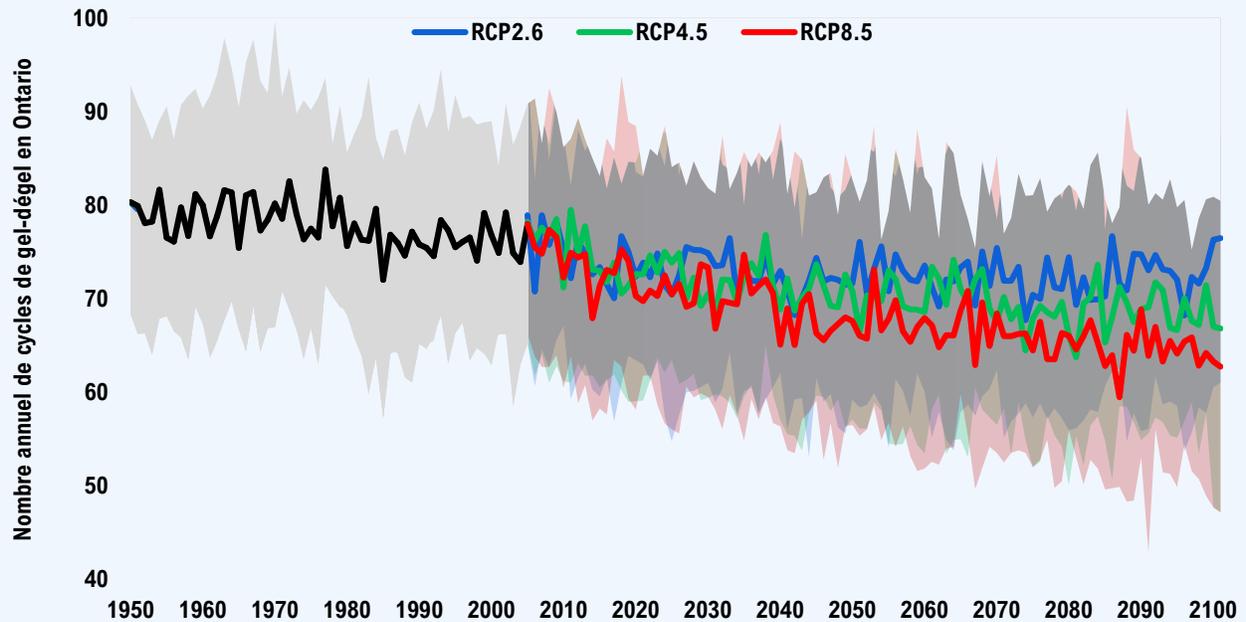
À la base, les alternances de gel et de dégel sont dues aux fluctuations entre les températures de l'air au-dessous et celles au-dessus du point de congélation. Dans ces conditions, l'eau qui se trouve en surface ou est encore absorbée par les matériaux des infrastructures peut rapidement passer de l'état liquide à l'état. Puisque que l'eau se dilate lorsqu'elle gèle, l'expansion et la contraction répétées peuvent endommager l'infrastructure.

En tenant compte de cette définition élémentaire, les alternances annuelles de gel et de dégel peuvent être définies comme le nombre de jours par année dont la température maximale quotidienne est supérieure à 0 °C et celui dont la température minimale quotidienne est inférieure à 0 °C. Selon cette définition, le nombre de jours d'alternances était de 79 jours en moyenne dans les années 1950 et de 76 jours dans les années 2000. À mesure que la saison hivernale raccourcit en raison du changement climatique, cette tendance devrait se poursuivre d'ici la fin du siècle, et les cycles gel-dégel moyens dans la province diminueront de 4 jours (0 à 12 jours) selon le RCP2.6, de 9 jours (0 à 15 jours) selon le RCP4.5 et de 12 jours (0 à 19 jours) selon le RCP8.5, par rapport à la période de référence de 1976 à 2005.

⁸⁰ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020, section 1.2.

Graphique 2-10

Nombre annuel de cycles de gel et de dégel, moyenne de l'Ontario

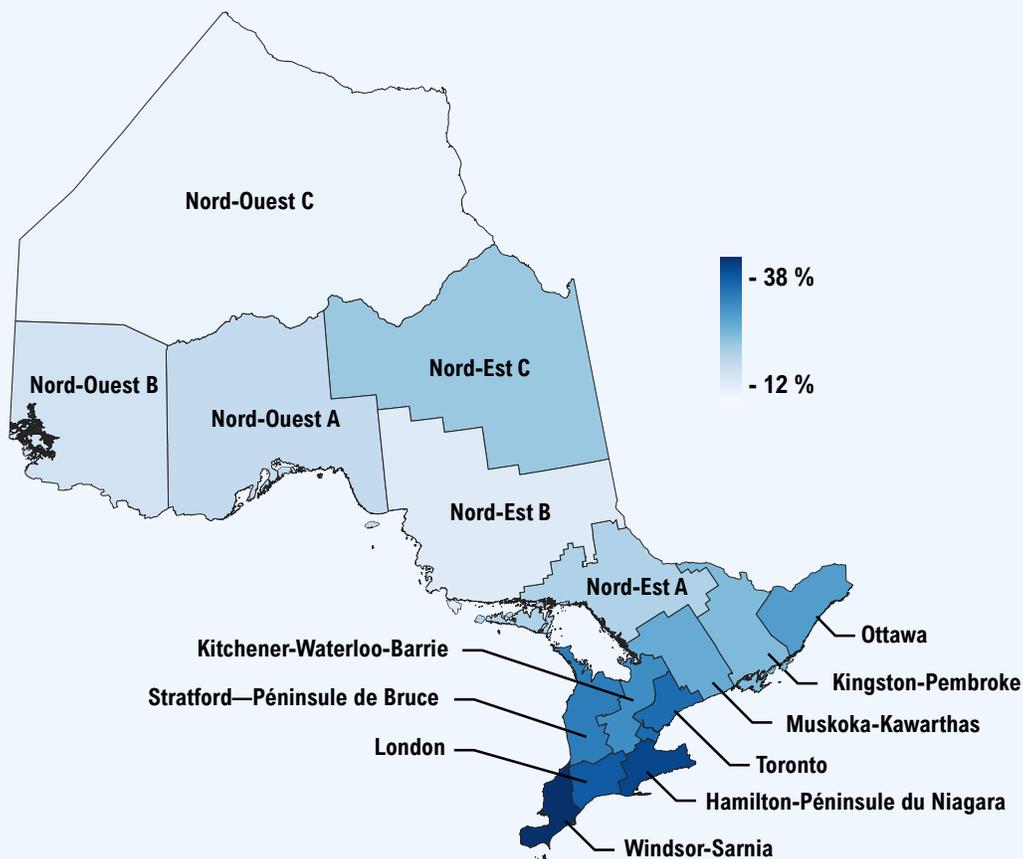


Remarque : les zones ombrées montrent la fourchette des projections des 10^e et 90^e percentile.
 Source : Centre canadien des services climatiques.

Les tendances quant aux alternances gel-dégel varient significativement selon la région ontarienne. La baisse de ces cycles est plus importante dans le sud de l'Ontario, où les températures minimales quotidiennes tendront graduellement à monter au-dessus de 0 °C. Le grand changement en pourcentage dans le sud de l'Ontario par rapport au nord de l'Ontario est dû au plus petit nombre de cycles de gel-dégel dans le climat actuel, ce qui signifie qu'un changement semblable à celui du nord entraîne un changement en pourcentage plus important au sud.

Graphique 2-11

Variation médiane projetée des cycles annuels gel-dégel entre la période de 1976-2005 à 2071-2100, selon le RCP8.5



Remarque : La distribution des couleurs est basée sur la projection médiane multimodèle.
Source : Centre canadien des services climatiques.

L'impact des cycles gel-dégel peut différer selon leurs durées et leurs intensités. Par exemple, un refroidissement survenant au printemps, lorsque la température descend brièvement au-dessous de zéro au cours d'une période habituellement plus chaude, pourrait avoir moins d'impact que le même phénomène qui se produit au cœur de l'hiver, lorsque la température dépasserait la barre du zéro avant un refroidissement important. Les cycles de gel et de dégel « intenses » ont généralement lieu durant l'hiver et se produisent lorsque la température moyenne quotidienne est inférieure à 0 °C.

Dans l'ensemble, le nombre de cycles gel-dégel intenses est en baisse dans la plupart des régions de l'Ontario et dans la plupart des scénarios. Toutefois, certains scénarios montrent une tendance à la hausse dans les régions du nord de l'Ontario, car des hivers plus chauds réduisent les périodes de gel intenses et augmentent les périodes de températures proches de 0 °C. À ce titre, les tendances moyennes des cycles gel-dégel intenses pour l'Ontario varient entre des baisses importantes et des augmentations importantes (voir le tableau 2-3).

Prévoir l'effet des cycles gel-dégel sur les infrastructures publiques est plus complexe que de simplement projeter les changements de leur fréquence. Les changements de température et de teneur en humidité du sol, ainsi que la quantité de précipitations durant l'hiver affecteront également les infrastructures par la pression et les dommages sur celles-ci, au cours de ces périodes d'alternances.

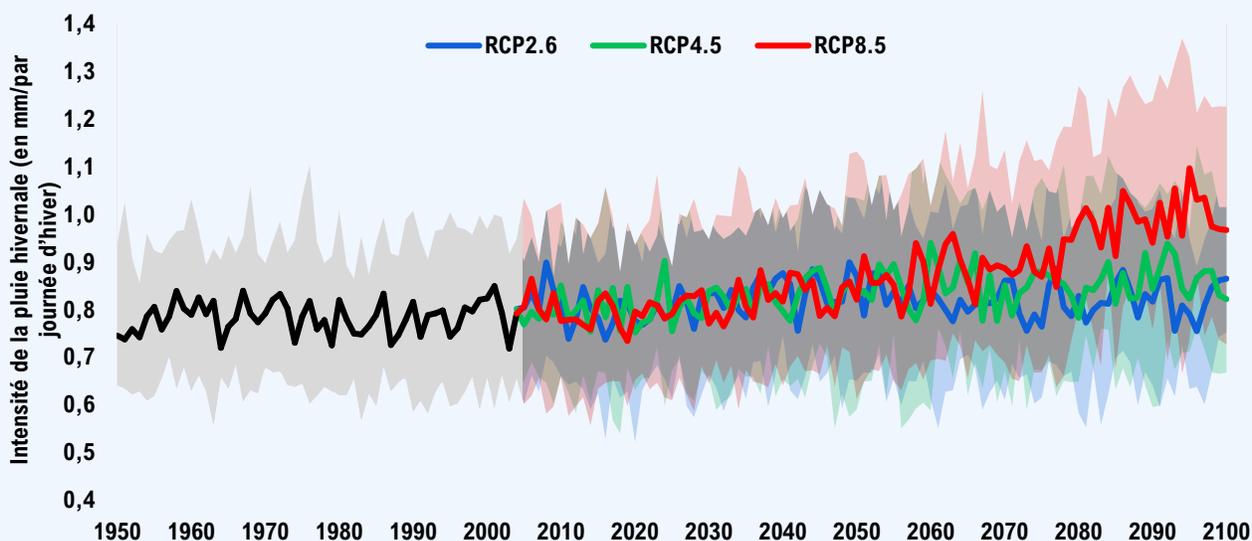
Les ingénieurs du WSP ont indiqué que les définitions des cycles gel-dégel strictement basées sur la température permettent une approximation convenable des dommages qui pourraient affecter les infrastructures qui présentent des surfaces verticales où moins d'humidité s'accumulerait (c'est-à-dire les enveloppes de bâtiments ou les ponts). Cependant, pour les biens horizontaux, notamment pour la chaussée, la teneur en humidité de la base de la route devrait également contribuer à l'impact des cycles gel-dégel.

Les variables climatiques associées à l'humidité et à la moiteur sont sujettes à une faible confiance scientifique en raison des défis liés à la mesure de la teneur en eau du sol⁸¹. Pour mieux tenir compte de l'effet des précipitations et de l'humidité, les ingénieurs du WSP ont précisé que, en hiver, l'intensité des précipitations constituait l'approximation la plus fiable de la teneur en humidité d'une base de route et un indicateur pertinent des dommages causés à la chaussée par les cycles gel-dégel. En effet, l'augmentation de l'intensité des précipitations en hiver dépassera plus fréquemment la capacité de drainage des routes, entraînant une plus grande pénétration de l'eau dans la base des routes.

L'intensité des pluies hivernales peut être définie comme la quantité moyenne de précipitations sous forme de pluie⁸² par jour en hiver⁸³. L'intensité des pluies hivernales telles que définies devrait augmenter de 5,8 % (entre 1,5 et 7,0 %) en Ontario d'ici la fin du siècle par rapport à la moyenne de 1976-2005 selon le RCP2.6, de 10,5 % (entre 2,6 et 13,0 %) selon le RCP4.5 et de 21,7 % (entre 15,8 et 30,9 %) selon le RCP8.5.

Graphique 2-12

Intensité médiane de la pluie hivernale, moyenne de l'Ontario



Remarque : les zones ombrées montrent la fourchette des projections des 10^e et 90^e percentile.

Source : Centre canadien des services climatiques.

⁸¹ Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, page 308.

⁸² Le terme « pluie » fait référence aux précipitations lors de température quotidienne moyenne au-dessus de zéro.

⁸³ « L'hiver » est défini comme étant la période qui va du premier au dernier jour de gel de l'année. Cette définition est utilisée, car cette période raccourcit en raison du changement climatique.

Les ingénieurs du WSP ont noté que les tendances des cycles gel-dégel intenses et les tendances de l'intensité des pluies hivernales sont toutes deux pertinentes pour projeter les dommages causés aux routes par les cycles gel-dégel. Pour exprimer la tendance de ces deux indicateurs mis ensemble, les ingénieurs du WSP ont proposé de créer un indice des dommages à la chaussée causés par les cycles gel-dégel. Cependant, bien que les deux indicateurs soient pertinents pour projeter les dommages causés aux routes par les cycles gel-dégel, le WSP ne dispose d'aucune recherche permettant de déterminer lequel des indicateurs prime. En l'absence de toute orientation sur cette question, le WSP a proposé d'accorder la même importance aux tendances de l'intensité des pluies hivernales qu'aux occurrences de cycles gel-dégel intenses pour cet indice. Le tableau 2-3 résume les principaux indicateurs de cycles gel-dégel utilisés dans cette étude.

Tableau 2-3

Variation en pourcentage projetée de certaines variables du cycle gel-dégel de 1976 à 2100, moyenne de l'Ontario

Variable	Définition	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Cycles gel-dégel par an	Nombre de jours par année dont le maximum quotidien est supérieur à 0 °C et le minimum est inférieur à 0 °C	- 5,5 (- 15,2 à 0,0)	- 12,1 (- 19,2 à 0,0)	- 15,1 (- 24,9 à 0,0)
Cycles gel-dégel intenses par an	Nombre de jours par année dont le maximum quotidien est supérieur à 0 °C, le minimum est inférieur à 0 °C, et dont la température moyenne quotidienne est égale ou inférieure à 0 °C	- 2,3 (- 8,3 à + 4,6)	- 4,4 (- 10,8 à + 4,8)	- 4,9 (- 15,8 à + 12,5)
Jours d'hiver	Nombre total de jours dans une même année, du 1er janvier au dernier jour de gel printanier (dernier jour de l'année avant le 1er juillet où la température minimale quotidienne était inférieure à 0 °C) plus le nombre de jours depuis la première gelée d'automne (premier jour de l'année après le 1er juillet où la température minimale quotidienne était inférieure à 0 °C) jusqu'au 31 décembre.	- 17 jours (- 38 - 13 jours)	- 29 jours (- 54 à - 26 jours)	- 55 jours (- 75 à - 47 jours)
Pluie hivernale	Précipitations annuelles qui surviennent lorsque la température annuelle quotidienne dépasse 0 °C, totalisées relativement aux jours d'hiver, tels que définis plus haut	- 3,9 (- 16,3 à + 2,5)	- 4,5 (- 21,8 à - 2,2)	- 6,4 (- 18,4 à + 0,1)
Intensité des jours de pluie hivernale	Quantité de pluie hivernale par « jour d'hiver » tel que défini plus haut (mm/jour)	+ 5,8 (+ 1,5 à 7,0)	+ 10,5 (+ 2,6 à 13,0)	+ 21,7 (+ 15,8 à 30,9)
Indice des dommages aux routes liés au gel-dégel	Variation de 0,5 %* des cycles gel-dégel intenses + 0,5 %* de variation de l'intensité de la pluie hivernale	+ 1,7 (- 3,4 à 5,8)	+ 3,0 (- 4,1 à 8,9)	+ 8,4 (0,0 à 21,7)

Remarque : les nombres sont arrondis. Les projections médianes (50^e percentile) des variables climatiques sont présentées, suivies des fourchettes entre parenthèses. Les fourchettes montrent les projections des 10^e et 90^e percentiles. Toutes les valeurs sont exprimées en pourcentage de variation, sauf pour les jours d'hiver.

Source : Centre canadien des services climatiques

La confiance quant aux projections des cycles gel-dégel s'avère élevée. Elle est plus modérée quant aux projections de cycles intenses en raison de la quantité de preuves relatives aux tendances et aux fourchettes projetées. Alors que le nombre de cycles gel-dégel annuels devrait diminuer dans toutes les régions et tous les scénarios, le nombre de cycles gel-dégel intenses devrait augmenter dans les régions du nord de l'Ontario selon certains scénarios.

Les projections de l'intensité des pluies hivernales sont associées à un degré de confiance moyen⁸⁴. À mesure que les températures augmentent, le nombre de jours d'hiver décroît dans toutes les régions et tous les scénarios en raison du raccourcissement de la période hivernale. Parallèlement, l'intensité des pluies hivernales augmente dans tous les scénarios et régions. Dans l'ensemble, la combinaison de ces tendances conduit à une baisse du volume des pluies hivernales pour la plupart des régions et des scénarios.

Enfin, la confiance envers la projection de l'indice de dommages aux routes imputables aux cycles gel-dégel est plus faible en raison de l'absence de recherches permettant de déterminer comment les tendances des cycles gel-dégel intenses et de l'intensité des pluies hivernales devraient être combinées.

⁸⁴ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiers, F.W., 2020, section 1.2.



3 | Méthodologie de l'ICIP

Résumé

Au cours des deux premières phases du projet sur les ICIP, le BRF a évalué l'état des infrastructures provinciales et municipales de l'Ontario. L'objectif de la phase finale du projet sur les ICIP est d'estimer les coûts budgétaires à long terme auxquels la province et les municipalités pourraient s'exposer relativement aux changements climatiques. La détérioration accélérée des infrastructures ou de frais de fonctionnement accrus constituent des risques inhérents.

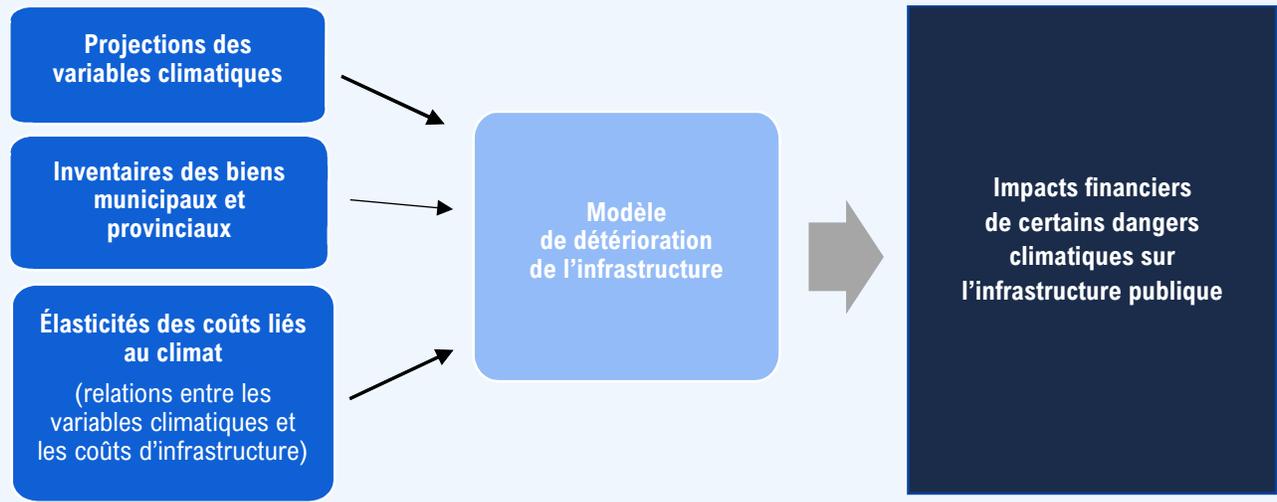
Ce chapitre débute par l'élaboration de l'inventaire des infrastructures publiques incluses dans la troisième phase du projet. Par la suite, le modèle de détérioration des infrastructures est brièvement décrit, ainsi que la manière dont il est utilisé pour projeter les coûts d'entretien à long terme, afin de maintenir les infrastructures publiques en bon état. Ce modèle constitue la base de comparaison des scénarios qui prennent en compte les impacts du changement climatique.

La section suivante explique comment les scénarios, influencés par les impacts du changement climatique, ont été construits. Les « coûts du changement climatique » en matière d'infrastructure publique peuvent inclure les coûts liés aux dommages et les coûts associés à l'adaptation de celles-ci, le cas échéant. Les deux types de coûts sont intégrés dans le modèle de détérioration des infrastructures grâce aux corrélations développées par les différentes disciplines d'ingénierie du WSP. Ces corrélations sont appelées « élasticités climatiques » et relient les changements dans les principales variables climatiques à ceux de divers types de coûts d'infrastructure. Ces coûts sont définis et décrits, et un aperçu des élasticités climatiques est présenté par le WSP⁸⁵.

⁸⁵ Pour une description détaillée des corrélations du WSP entre les infrastructures et les risques climatiques et la méthodologie complète sous-jacentes à leurs conclusions, voir le rapport du WSP, 2021.

Graphique 3-1:

Aperçu de la méthodologie



Source : BRF.

Pour terminer, ce chapitre expose les incertitudes importantes impliquées dans la projection de l'impact financier des risques inhérents aux changements climatiques sur les infrastructures publiques. Il soulève également certaines forces importantes, certaines limites, ainsi que des mises en garde clés de l'approche du BRF.

Étendue des infrastructures publiques incluses dans l'ICIP

L'infrastructure publique de l'Ontario appartient à trois ordres de gouvernement : le gouvernement du Canada, le gouvernement de l'Ontario et les municipalités de l'Ontario⁸⁶. Au cours des deux premières phases du projet sur les ICIP, le BRF a analysé l'état de l'infrastructure relevant de la province et des municipalités de l'Ontario⁸⁷. Au cours du processus, le BRF a mis au point des bases de données détaillées des infrastructures. Elles regroupent 220 milliards de dollars de biens provinciaux⁸⁸ et 484 milliards de dollars d'actifs municipaux.

Les biens traités dans ces rapports n'incluaient pas :

- l'infrastructure fédérale ou celle appartenant à des sociétés d'État (comme la production/distribution d'électricité ou les casinos);
- l'infrastructure foncière, forestière et informatique;
- certaines infrastructures municipales, en raison de la disponibilité limitée des données, y compris les machines et le matériel, ainsi que les équipements et certains types d'infrastructures d'ingénierie.

⁸⁶ Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2020.

⁸⁷ Pour en savoir plus sur l'état de bon fonctionnement actuel de l'infrastructure municipale et provinciale, voir Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2020, et Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2021.

⁸⁸ La valeur de remplacement actuelle des routes et des autoroutes provinciales a été mise à jour pour refléter les coûts unitaires du guide d'estimation paramétrique du ministère des Transports, 2016.

Dans le cadre des infrastructures concernées, le BRF a travaillé avec le WSP à déterminer quels risques climatiques auraient le plus grand impact et sur quelles classes de biens ils séviraient. Puisque chaque risque engendre un impact différent selon la classe de bien, il a été convenu que le WSP se limiterait aux « interactions » dont les répercussions financières sont les plus importantes pour les gestionnaires de biens. L'évaluation du WSP a déterminé que le projet se les ICIP se concentrerait sur les 12 interactions les plus significatives.

Graphique 3-2

Portée des interactions entre les risques climatiques retenus et les classes de biens publics

	Chaleur extrême	Précipitations extrêmes	Cycles gel-dégel
Bâtiments	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Routes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Voies ferrées	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ponts	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ponceaux	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conduites d'eaux pluviales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conduites d'eaux usées	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conduites d'eau potable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Machinerie et équipements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sources : WSP et BRF.

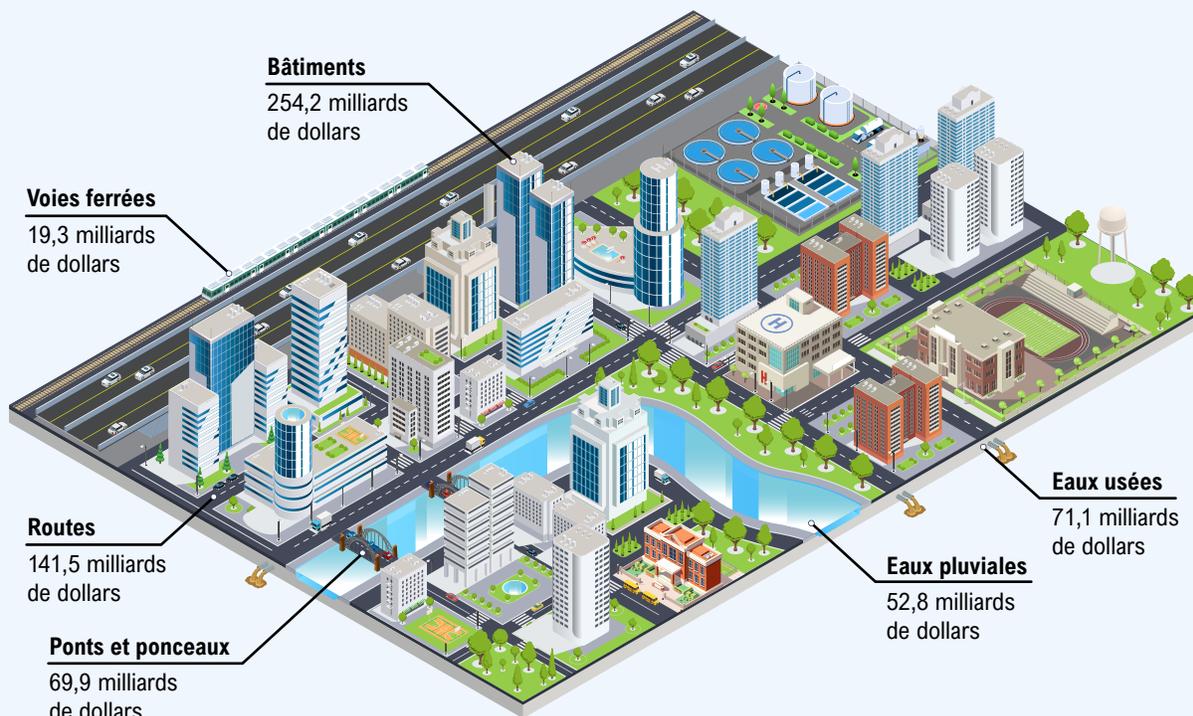
Le graphique 3-2 montre quels risques le WSP a jugés les plus pertinents à évaluer pour chaque classe de biens. Les températures élevées devaient avoir un impact plus important sur les bâtiments, les routes et les infrastructures ferroviaires que sur les autres classes de biens. Par exemple, les conduites d'eau potable et d'eaux usées souterraines sont peu susceptibles d'être affectées par les chaleurs extrêmes. Il a été conclu que les précipitations intenses auraient des impacts significatifs sur la plupart des infrastructures. Pour ce qui est des cycles de gel-dégel, les impacts les plus importants toucheraient les routes, mais le WSP a déterminé que certaines composantes des bâtiments et des ponts méritaient également d'être surveillées. Il a été convenu que les conduites d'eau potable, ainsi que les machines et les équipements ne devraient pas être atteints de façon importante par ces trois risques. Ils ont donc été exclus du projet sur les ICIP⁸⁹.

En tenant compte de ces exclusions, la portée des infrastructures publiques incluse dans le projet sur les ICIP représente 193,5 milliards de dollars au niveau provincial et 415,3 milliards de dollars au niveau municipal. Cela correspond à 86,5 % de la valeur des infrastructures examinées dans les rapports provinciaux et municipaux du BRF. L'omission d'une interaction ne signifierait pas nécessairement qu'il n'y aurait pas d'impact climatique sur cette infrastructure, mais plutôt que le WSP a indiqué que ces impacts étaient probablement moins importants.

⁸⁹ Le rapport du WSP expose la justification technique complète relative aux interactions retenues.

Graphique 3-3

Aperçu des infrastructures provinciales et municipales par classe de biens de l'ICIP



Source : BRF.

L'analyse du BRF est fondée sur l'ensemble des infrastructures publiques actuelles. Elle n'inclut pas les infrastructures en cours de construction, ni celles planifiées ni celles qui seraient nécessaires en vue d'une demande à venir. D'éventuelles améliorations de fonctionnement aux infrastructures publiques existantes n'y sont pas considérées. Bien que ces dépenses seraient substantielles, leurs estimations, ainsi que celles des coûts liés aux impacts climatiques dépassent le cadre du projet.

Les coûts à long terme de l'entretien des infrastructures publiques

Les infrastructures nécessitent des investissements et des dépenses d'exploitation de façon continue. Les investissements sur l'infrastructure existante comprennent les dépenses pour la réparation, la remise en état⁹⁰ ou encore la réfection⁹¹. Ils s'avèrent moins fréquents que les coûts d'exploitation, couvrant le fonctionnement et l'entretien (F et E), qui sont récurrents annuellement. Il n'en demeure pas moins que les deux types de coûts sont essentiels au maintien du bon état des infrastructures. Ils permettent aux infrastructures de fournir les services prévus dans des conditions considérées acceptables, du point de vue de l'ingénierie et de la gestion des coûts. Afin de calculer ces coûts, le BRF a croisé deux types d'informations. D'une part, le modèle de détérioration des

⁹⁰ La remise en état est la réparation en tout ou en partie d'un bien, prolongeant ainsi la vie utile du bien original sans en modifier ou en augmenter les capacités, la fonctionnalité ou le rendement. La remise en état diffère de l'entretien, qui consiste pour sa part en une série d'interventions de routine auprès d'un bien pour en prolonger la vie utile au maximum et minimiser les interruptions de service. La remise en état d'un bien vise à sa remise en bon état (l'objectif de réparation) et non sa remise à neuf.

⁹¹ La réfection est le remplacement d'un bien existant, résultant en un bien neuf ou comme neuf, doté de capacités, de fonctionnalités et de performances équivalentes à celles du bien original. La réfection diffère de la remise en état, puisqu'elle consiste à construire le bien à nouveau.

infrastructures, qui est basé sur des techniques de modélisation mises au point par le ministère de l'Infrastructure de l'Ontario. D'autre part, les données d'infrastructures provinciales et municipales⁹² qui sont utilisées pour l'estimation des investissements en capital et les dépenses d'exploitation permettant aux biens de demeurer dans un état convenable jusqu'en 2100, indépendamment du changement climatique⁹³.

Le modèle détermine ces investissements en capital et ces dépenses d'exploitation en fonction des caractéristiques propres à chaque bien spécifique. Un bien neuf, en très bon état, nécessite moins de dépenses en capital au cours des premières décennies, qu'un plus ancien en mauvais état. De même, un type de biens peut exiger des normes de rendement plus élevées qu'un autre. Les dépenses d'exploitation peuvent également varier selon le type de biens.

Contrairement aux rapports précédents du BRF qui évaluaient l'état des infrastructures provinciales et municipales⁹⁴, la troisième phase du projet sur les ICIP débute par la projection des dépenses nécessaires pour remettre et maintenir les infrastructures publiques en bon état à long terme, indépendamment du changement climatique. Ce scénario constitue la référence à laquelle sont comparés les scénarios considérant l'impact du changement climatique. De cette façon, les coûts associés au changement climatique sont distingués des coûts engendrés par le déficit infrastructurel actuel et futur.

Pour une description détaillée du modèle de détérioration des infrastructures, consulter l'annexe.



⁹² Les données sur les biens d'infrastructure provinciale ont été recueillies à partir d'inspections techniques des biens, ainsi qu'à partir d'informations de haut niveau fournies par divers ministères du gouvernement de l'Ontario. Les données sur les biens d'infrastructure municipale ont été recueillies à partir des ensembles de données sur les biens municipaux, des plans de gestion des biens immobiliers, de l'enquête sur les infrastructures publiques essentielles du Canada (IPEC) 2018, du rapport d'information financière (RIF) 2018 et de l'inventaire des biens municipaux du ministère de l'Infrastructure. Pour une description de l'infrastructure municipale et provinciale ainsi que des sources de données, voir les annexes du Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2020, et du Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2021.

⁹³ Pour une description détaillée du modèle de détérioration des infrastructures, consulter l'annexe.

⁹⁴ Les rapports fournissaient également des estimations du niveau d'importance des dépenses nécessaires pour remettre les biens en bon état. Ce concept est désigné dans les rapports provinciaux et municipaux du BRF sous le nom d'arriéré d'infrastructure. Pour une discussion plus détaillée sur le déficit infrastructurel et la manière dont il a été calculé, voir Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2020, et Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario, 2021.

Élasticités des coûts liés au climat

Cette section définit les concepts utilisés pour améliorer le modèle de détérioration des infrastructures afin d'intégrer les impacts du changement climatique. Elle décrit aussi brièvement comment le WSP a mis au point le modèle de corrélations nécessaire désigné comme étant les « élasticités climatiques » en lien avec les coûts des dommages, ainsi qu'avec les coûts d'adaptation engendrés par le changement climatique.

Détermination des coûts du changement climatique grâce au modèle de détérioration des infrastructures

Coût des dommages

Les coûts des dommages sont définis comme la variation des coûts d'infrastructure à long terme (par rapport au scénario de référence) sans aucune mesure d'adaptation. Ces coûts pourraient être associés à des mises en état supplémentaires ou plus fréquentes et à des réfections hâtives, ainsi qu'à des modifications des dépenses de fonctionnement et d'entretien (F et E) dues à des événements extrêmes ou à un vieillissement prématuré.

Le WSP a élaboré deux types de corrélations entre les changements dans les variables climatiques et les coûts des dommages aux infrastructures. Ces coûts surviennent indépendamment de toute mesure d'adaptation.

1. Une modification de la durée de vie utile en raison d'un changement des variables climatiques. Le changement climatique altérera les tendances de détérioration historique de l'infrastructure. Les biens peuvent se détériorer plus rapidement (ou plus lentement dans certains cas) en raison des changements à long terme des variables climatiques clés. Dans le modèle de détérioration des infrastructures, la détérioration prématurée des biens entraîne des coûts de remise en état plus fréquents ou supplémentaires, ainsi que des réfections hâtives (les biens dont la durée de vie utile est plus courte doivent être remplacés plus tôt en l'absence d'une remise en état).
2. Une modification des dépenses de fonctionnement et d'entretien (F et E) en raison d'un changement de variables climatiques. Le coût de F et E peut également être affecté par l'évolution des variables climatiques indépendamment de mesures d'adaptation. Par exemple, des inspections plus fréquentes peuvent être requises, ce qui augmente le coût annuel de l'exploitation.

Coûts d'adaptation

L'adaptation d'infrastructures publiques à des risques climatiques spécifiques pourrait prendre plusieurs formes. Dans certains cas, on procéderait à la mise à jour des paramètres de conception de l'infrastructure à un niveau de standard plus élevé⁹⁵. Dans d'autres, on opterait plutôt pour la mise à niveau de certaines composantes du bien pour les adapter aux nouvelles conditions climatiques. L'adaptation pourrait également se traduire par une nouvelle conception de l'infrastructure ou le remplacement par d'autres options, comme l'utilisation d'infrastructures vertes pour accommoder l'augmentation de l'intensité des précipitations, notamment la plantation d'arbres, l'amélioration des zones humides ou l'installation de toits verts, au lieu de préconiser des conduites d'eaux pluviales ou des fossés.

Dans cette étude, les « coûts d'adaptation » représentent le coût des mesures applicables afin de pallier les impacts de certains risques climatiques pour s'assurer que les biens fonctionnent selon les normes établies à leur conception (par exemple, des conduites d'eaux pluviales qui ne déborderaient pas lors d'épisodes de précipitations plus extrêmes), et pour empêcher la détérioration accélérée des biens ainsi que des dépenses d'exploitation et d'entretien supplémentaires malgré le changement des variables climatiques.

⁹⁵ Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., et Zwiars, F.W., 2020.

Le WSP a développé deux types de relations entre les changements dans les variables climatiques et les coûts pour adapter les infrastructures.

1. Le coût des rénovations pour s'adapter à un changement de variable climatique. Une option d'adaptation pour les gestionnaires consiste à moderniser un bien avant la fin de sa durée de vie. « Rénovation » dans ce projet signifie remplacer certaines composantes d'un bien par d'autres mieux adaptées aux variables climatiques modifiées. La nature de ces modernisations varie selon les circonstances. Il pourrait s'agir, par exemple, de l'imperméabilisation des fondations d'un bâtiment ou du renforcement des remblais routiers pour empêcher l'érosion accélérée⁹⁶.
2. Une évolution du coût de renouvellement des biens pour s'adapter à un changement de variable climatique. L'adaptation au changement climatique peut également se produire à la fin de la durée de vie d'un bien s'il est remplacé par un autre conçu pour résister aux changements des variables climatiques. Les adaptations lors du renouvellement ne peuvent se produire que lorsqu'un bien est entièrement remplacé, tandis que l'adaptation de type rénovation peut se produire à tout moment au cours de la vie du bien.

Les hypothèses et les justifications des dommages et des coûts d'adaptation par classe de biens, composante et risque climatique sont détaillées dans le rapport du WSP.

⁹⁶ Voir WSP, 2021, pour une description complète d'exemples de rénovations.



Estimation des élasticités des coûts liés au climat

Le WSP a fait une estimation de l'élasticité des coûts liés au climat pour chacun des quatre types de corrélations entre changement des variables climatiques et coûts d'infrastructure comme défini ci-dessus. De façon générale, une élasticité est la mesure de la sensibilité d'une variable à un changement intervenu dans une autre variable. Dans le cas présent, l'élasticité des coûts liés au climat indique le changement intervenu dans un des aspects des coûts d'infrastructure par rapport à un changement dans une variable climatique précise.

Pour chaque risque climatique pertinent dans chaque classe de biens, les ingénieurs du WSP ont consulté leurs experts et ont choisi la variable climatique la plus appropriée pour faire le lien avec le risque climatique en question, et ce, pour chaque classe de biens ou composante de biens. Par exemple, l'infrastructure ferroviaire est la plus touchée par les chaleurs extrêmes. Pour l'alignement des rails de chemin de fer, le nombre de jours dont les températures sont supérieures à 30 °C est l'indicateur climatique le plus pertinent de chaleur extrême. Cependant, pour les structures ferroviaires connexes (p. ex. les murs antibruit), la température quotidienne moyenne de la mi-juillet est l'indicateur le plus pertinent (voir le chapitre 2 pour une discussion générale sur les indicateurs climatiques pertinents)⁹⁷.

Afin d'estimer les élasticités des coûts liés au climat requises, le WSP a d'abord calculé la variation de certains indicateurs choisis du changement climatique (représentée par Δc) selon le scénario du 90^e percentile du RCP8.5 pour trois régions représentatives de l'Ontario (Nord, Centre et Sud). Ces estimations ont été utilisées afin d'estimer le plafond de l'échelle des valeurs possibles considérées par les experts du WSP. Pour les indicateurs non basés sur la température, ceux-ci sont calculés en pourcentage de variation d'ici la fin de siècle (la moyenne entre 2051 et 2080) par rapport à la référence de 1976-2005 :

$$\Delta c = (c_{2051-80} - c_{1976-2005}) / c_{1976-2005}$$

Pour les indicateurs basés sur la température mesurée en degrés centigrades (°C), cette variable est calculée en tant que changement de niveau :

$$\Delta c (\text{°C}) = c_{2051-80} - c_{1976-2005}$$

Une fois les estimations réalisées, le WSP a mené une enquête auprès des experts pour leur demander d'estimer l'impact de ces indicateurs climatiques sur les différents types de coûts d'infrastructure. Les questions de l'enquête soumises aux experts sont présentées dans le tableau 3-1.

⁹⁷ Voir WSP, 2021, pour plus de détails.

Tableau 3-1

Questions soumises aux experts par le WSP

Type de coût	Question posée aux experts	Résultat
Coûts de remise en état	D'ici 2051-2080, selon le scénario élevé RCP8.5, quelle serait la variation de durée de vie utile selon l'évolution de chaque risque climatique pour chaque bien ou composant?	Estimation de la diminution de la durée de vie utile (pourcentage) pour un bien complet et une part du pourcentage pour chaque composant de bien directement lié à la variable climatique correspondante
Coûts de F et E	Combien cela coûterait-il annuellement, en pourcentage de la valeur actuelle de remplacement (VRA), pour l'exploitation et le maintien du taux de détérioration attendu dans les conditions climatiques de 2051-2080 selon le scénario élevé du RCP8.5?	Estimation des futurs coûts de F et E (en pourcentage de la VRA) pour un bien complet et une part du pourcentage pour chaque composant de bien directement lié à la variable climatique correspondante
Coûts de réfection	Imaginez que vous conceviez un tout nouveau bâtiment résistant au climat qui devra avoir des fonctions correspondant à la période 1976-2005, mais conçu pour les conditions climatiques de 2051-2080 selon le scénario élevé du RCP8.5. Quel serait le coût en pourcentage de la valeur de remplacement (VRA)?	Estimation des coûts de réfection (en pourcentage de la VRA) pour un bien complet et une part du pourcentage pour chaque composant de bien.
Coûts de rénovation	Combien cela coûterait-il de moderniser, en pourcentage de la VRA, pour rendre le bâtiment résistant aux changements climatiques selon les projections du scénario élevé du RCP8.5?	Estimation des coûts de rénovation (en pourcentage de la VRA) pour un bien complet et une part du pourcentage pour chaque composant de bien directement lié à la variable climatique correspondante

Source : WSP.

Le WSP a réparti les résultats de l'enquête selon leur probabilité : les plus optimistes, les plus pessimistes et ceux s'avérant les plus probables. Les réponses des experts à ces questions reflètent leurs connaissances techniques des codes du bâtiment fédéral et provincial, leur compréhension de la documentation sur les interactions entre le climat et l'infrastructure, de la diversité des caractéristiques et de la nature des biens concernés ainsi que de la vulnérabilité climatique moyenne de ces biens. Les estimations de coût produites par ces experts métier peuvent être représentées ainsi : Δp . Cette valeur reflète l'évolution du coût d'infrastructure en fonction du changement climatique (Δc).

Le rapport entre Δp et Δc a été utilisé pour calculer l'élasticité des coûts liés au climat exprimé comme la sensibilité d'un coût d'infrastructure (en pourcentage) par variation de variable climatique, représenté par α :

$$\frac{\Delta p}{\Delta c} = \alpha$$

En général, une élasticité de coûts climatiques de zéro ($\alpha = 0$) implique que l'indicateur de changement climatique n'a pas d'impact sur le coût d'infrastructure auquel cette élasticité est appliquée. Pour les élasticités de coûts climatiques appliquées directement aux coûts d'infrastructure (y compris les dépenses d'exploitation et d'entretien, les coûts de rénovation et de renouvellement), une valeur positive ($\alpha > 0$) indique que le coût pour une infrastructure donnée augmentera à mesure que l'indicateur climatique augmente. Une valeur négative ($\alpha < 0$) indique une réduction des coûts. Pour les élasticités de coûts climatiques appliquées aux durées de vie utile, une valeur négative indique que la durée de vie utile diminuera à mesure que l'indicateur climatique augmentera, et vice versa.

Par exemple, on prévoit que les épisodes pluvieux intenses de 15 minutes des tempêtes décennales devraient augmenter de 32,1 % en Ontario d'ici la fin du siècle, comparativement à la référence historique inférieure au 90^e percentile selon les projections du scénario RCP8.5. Les experts consultés par le WSP ont conclu que l'intensité des pluies pourrait réduire la vie utile de service des bâtiments publics typiques de l'Ontario de 1,7 % d'ici 2051-2080, en raison des impacts négatifs sur les enveloppes des bâtiments⁹⁸. Cela correspond à une élasticité de -0,053 pour les enveloppes des bâtiments, ce qui indique que pour chaque augmentation de 1,0 % de l'intensité des précipitations de 15 minutes d'un événement qui se produit aux 10 ans, la durée de vie utile d'un bâtiment public moyen en Ontario devrait être plus courte de 0,053 %. Une durée de vie plus courte en raison de changements dans les précipitations extrêmes augmentera les coûts d'infrastructure en accélérant le besoin de remise en état et de réfection de biens.

$$\alpha = \frac{\Delta p}{\Delta c} = \frac{-0.017}{0.321} \approx -0.053$$

Dans certains cas, les ingénieurs du WSP ont déterminé des élasticités des coûts liés au climat entre les variables climatiques et différents types de biens au sein d'une classe de biens. Par exemple, des élasticités distinctes ont été estimées pour l'impact du coût des pluies extrêmes sur les canalisations et les fossés dans la classe des biens relatifs aux eaux de pluie. Ceci étant donné que les pluies extrêmes ont un impact particulier sur ces types de biens. Dans d'autres cas, les élasticités ont été estimées pour des composants individuels de biens. Par exemple, des élasticités des coûts liés au climat ont été calculées pour six composants distincts de bâtiments et l'impact de chacune a été pondéré ensemble sur la base de la part moyenne du composant dans la valeur de remplacement actuelle du bâtiment⁹⁹.

Une fois estimées, le BRF a intégré les élasticités de coûts climatiques (α) dans son modèle de détérioration des infrastructures et les a couplées aux projections climatiques régionales produites par le Centre canadien des services climatiques pour estimer les impacts sur les coûts d'infrastructure dans différents scénarios RCP (voir l'annexe A-1 pour les détails techniques).

Les élasticités de coûts climatiques sont présumées constantes, ce qui implique une relation linéaire entre l'indicateur de changement climatique et le coût projeté. Cette relation est intuitive pour les risques climatiques chroniques, y compris les chaleurs extrêmes, les cycles gel-dégel et certains aspects des précipitations extrêmes (par exemple, les précipitations annuelles moyennes ou la quantité maximale de précipitations sur 5 jours). Cependant, il existe d'autres aspects du risque de précipitations qui incluent des événements extrêmes dont les effets financiers observés sont souvent inégalement répartis dans le temps (par exemple, des précipitations qu'on ne voit qu'une fois tous les cent ans). L'approche du BRF tient compte de l'impact des événements de précipitations extrêmes, mais suppose qu'ils se répartissent plus ou moins également dans les grandes classes de biens et les régions au fil du temps.

Présentation des coûts en tenant compte de l'incertitude

Lorsqu'on présente les coûts des dommages causés par le changement climatique et les coûts d'adaptation sur de longues périodes, il faut reconnaître l'existence de nombreuses incertitudes.

⁹⁸ Le WSP a cité les effets sur les produits de scellement, la pénétration accrue d'eau dans les murs et à l'intérieur, et la surcharge des systèmes de drainage interne qui contribue aux fuites et à la défaillance. Consulter le rapport du WSP, 2021, pour l'ensemble des éléments techniques qui sous-tendent les élasticités climatiques.

⁹⁹ Pour plus de détails, voir WSP, 2021.



Coûts des dommages

La présentation des résultats du calcul des coûts selon un scénario de coût des dommages peut indiquer dans quelle mesure les propriétaires de biens pourraient engager des coûts supplémentaires en l'absence de mesures d'adaptation. Un scénario de coûts des dommages pourrait être estimé pour un « bien type », pour l'ensemble d'une classe de biens ou pour l'ensemble du portefeuille de biens publics à l'étude.

Pour les données de coûts des dommages au niveau de la classe de biens, les champs d'incertitude les plus importants comprennent l'incertitude climatique, l'incertitude technique et l'incertitude au niveau de la composition des biens.

Incertitude climatique

Étant donné que l'évolution future des émissions et du changement climatique est inconnue, le BRF présentera le coût des dommages pour le scénario RCP8.5 (scénario avec émissions élevées), ainsi que pour le scénario RCP4.5 (considéré comme un scénario à émissions « moyennes ») dans les rapports sur les coûts par secteur. Le BRF pourrait également présenter les résultats pour le scénario RCP2.6 en guise de contexte.

Une incertitude climatique supplémentaire est présente dans chaque scénario RCP, puisqu'il existe 24 modèles globaux différents. Chacun comporte ses propres résultats quant au degré de sensibilité du climat terrestre à différents niveaux de concentration de gaz à effet de serre. Les rapports sur les coûts par secteur exposeront principalement des résultats pour la projection médiane de chaque scénario RCP choisi, mais ils présenteront également les résultats des RCP possibles en incluant les résultats pour les simulations de modèle climatique des 10^e percentile et 90^e percentile dans chaque scénario RCP pour servir de contexte ou de plages d'incertitude.

Enfin, le dernier rapport du GIEC indique que « des conséquences peu probables, telles que la disparition de la calotte glaciaire, les changements abrupts de la circulation des océans, la combinaison d'événements extrêmes et le réchauffement bien plus important que celui très probable prévu ne sont pas à exclure¹⁰⁰... » La méthodologie du BRF vise à évaluer la fourchette de coûts pour les infrastructures publiques dans les scénarios climatiques les plus probables, elle n'est pas conçue pour tenir compte de ces éventualités ou d'autres tout aussi peu probables.

Le GIEC met de l'avant le fait qu'à mesure que le réchauffement climatique progresse, les événements extrêmes peu fréquents dans le passé deviendront plus fréquents, et « ...il existe une plus forte probabilité que des événements d'une plus grande intensité, durée et/ou étendue géographique jusqu'à présent sans précédent dans les observations passées se produisent¹⁰¹. » En conséquence, cet aspect prévaut davantage dans le scénario RCP8.5 que dans le RCP4.5.

Incertitude technique

Il a été demandé aux ingénieurs du WSP d'élaborer une corrélation typique entre un changement climatique spécifique et les coûts d'infrastructure au niveau des classes de biens de l'Ontario. Au sein d'une classe de biens (comme les édifices), il existe des variantes qui peuvent augmenter l'incertitude inhérente aux élasticités climatiques techniques : des biens construits en s'appuyant sur différents concepts et selon différentes versions du code de conception, des biens qui utilisent différents matériaux dans leur construction et des biens qui présentent différents degrés de vulnérabilité face aux variables du changement climatique. Pour rendre compte de ces incertitudes, le WSP a estimé des corrélations de coûts : élevées, basses et plus probables. Les rapports du BRF portant sur les coûts se focaliseront sur les corrélations « plus probables », mais présenteront également des simulations basées sur les estimations hautes et basses pour donner du contexte.

¹⁰⁰ Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021, page 41.

¹⁰¹ Ibid.

Par ailleurs, les biens publics sont dans divers états de fonctionnement. Pour maîtriser les coûts associés à la remise en bon état de fonctionnement des biens, le scénario de référence du BRF et les simulations de scénarios climatiques suggèrent que tous les biens sont remis en bon état de fonctionnement dès que possible. Ainsi, les coûts des dommages dus au changement climatique sont exprimés en tant que variation des coûts par rapport à l'état de fonctionnement actuel.

Incertitude sur la composition future des biens

Au cours des trois prochaines décennies, la population de l'Ontario devrait augmenter entre 20 % selon un scénario bas et 53 % selon un scénario élevé¹⁰². Pour faire face à cette augmentation de population, il faudrait plus de bâtiments publics comme des écoles et des hôpitaux, des conduites d'eau et des infrastructures de transport. Les prochains rapports du BRF sur les coûts par secteur se focaliseront sur le parc actuel des biens d'infrastructure publique, et n'incluront pas les biens en construction, ceux dont la construction est planifiée ou nécessaire pour faire face à la future demande en infrastructure.

Bien que ces exclusions limitent le champ des futurs coûts potentiels dus au changement climatique, il n'était pas possible de rendre compte de façon fiable de l'incertitude associée à la future croissance de la population, aux technologies de construction, ainsi qu'à la composition et à la demande d'infrastructures publiques dans les rapports par secteur. Cette question pourrait être abordée dans de futures recherches.

Coûts d'adaptation

Les scénarios portant sur le coût des dommages sont des projections utiles pour évaluer le coût de l'inaction quant à l'adaptation au changement climatique. Cependant, tous les ordres de gouvernement, le secteur privé et bien d'autres institutions travaillent à diverses solutions d'adaptation. Par exemple, le ministère des Transports de l'Ontario a évalué la résilience de l'infrastructure de drainage des routes en fonction de différents scénarios d'évolution du climat et a présenté des mesures d'adaptation possibles¹⁰³.

Un large choix d'options d'adaptation s'offre actuellement à la disposition des gestionnaires de biens, qui diffèrent selon le contexte, les risques climatiques et le bien en question. Les codes de construction seront actualisés, les politiques du gouvernement changeront, les technologies évolueront et les actions des propriétaires de biens provinciaux et municipaux seront influencées par leurs budgets. Pour la prise en compte des actions d'adaptation, les gestionnaires de biens devraient très certainement prendre en considération la durée de vie utile restante, le coût d'adaptation, l'importance des services rendus par le bien, dans quelle mesure les services du bien sont compromis et l'état du bien, entre autres. Ces considérations soulèvent d'autres incertitudes quant à l'estimation des coûts du changement climatique pour ce qui est des coûts d'adaptation.

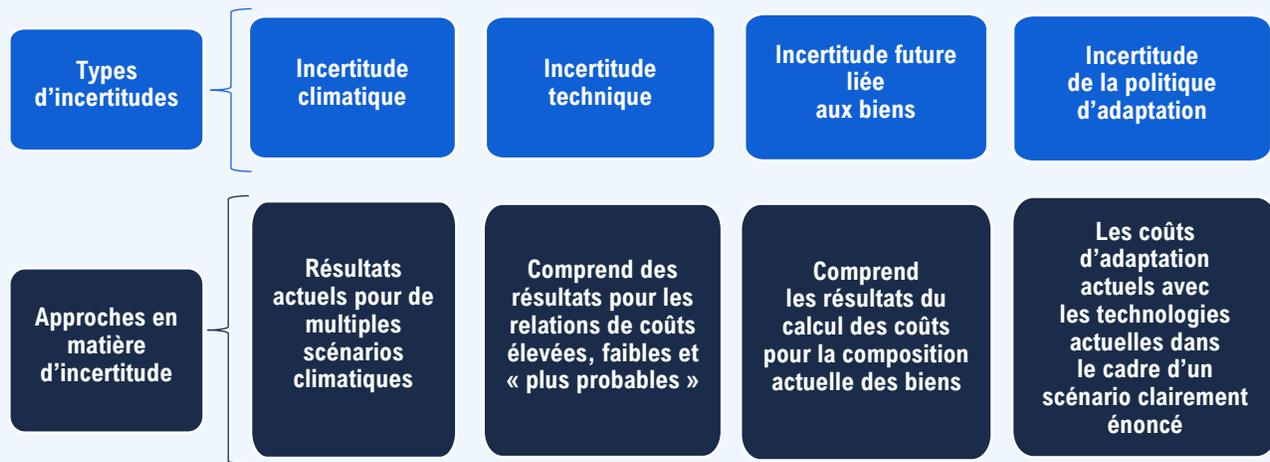
En outre, les décisions d'adaptation ne dépendent pas du bien lui-même. Étant donné que les infrastructures publiques fournissent des services essentiels, notamment les transports, la santé et la protection contre les inondations, toute interruption de service peut avoir des conséquences sociales et économiques significatives. Par conséquent, et en raison des incertitudes supplémentaires significatives associées à ce que serait une stratégie d'adaptation à grande échelle, le projet sur les ICIP ne fera pas d'analyse coût/bénéfice pour comparer les dommages du changement climatique et les coûts d'adaptation pour la société. Une telle analyse demanderait un cadre d'analyse bien plus large qui devrait inclure, entre autres, les coûts de la défaillance des infrastructures publiques pour la société et l'économie. Étant donné que le champ d'application du projet sur les ICIP se concentre sur l'impact financier pour les gestionnaires de biens eux-mêmes, le projet portera une gamme de coûts d'adaptation possibles pour les propriétaires d'infrastructures publiques.

¹⁰² Voir les [projections démographiques pour l'Ontario](#) du ministère des Finances de l'Ontario.

¹⁰³ Ministère des Transports de l'Ontario, 2015.

Graphique 3-4

Gestion des incertitudes clés



Source : BRF.

Avantages et limitations de l'approche du BRF

La méthodologie du BRF présente de nombreux avantages, mais également quelques restrictions et limitations que nous résumons plus bas.

Avantages

L'approche du BRF apporte une grande souplesse dans l'évaluation de l'impact des coûts engendrés par le changement climatique sur les infrastructures. Cette approche permet de :

- modéliser les coûts selon différents scénarios d'émissions;
- calculer le coût moyen des impacts du climat sur l'horizon prévisionnel afin de capturer les tendances climatiques à long terme;
- isoler l'impact des coûts engendrés par des risques climatiques spécifiques ou l'impact de certains types de coûts (comme les impacts climatiques pour les coûts de F et E, de remise en état ou de réfection).
- Étant donné que le modèle utilise des données précises relatives aux biens publics (notamment leur âge, leur état, leur valeur et leur localisation), il est possible de coupler avec les projections climatiques régionales à échelle réduite afin de représenter la variabilité géographique attendue relativement au changement climatique en Ontario. De plus, les coûts à long terme du scénario de référence et des scénarios climatiques intègrent la structure de vieillissement de l'infrastructure publique. Il permet de définir quand des biens publics nécessiteront des investissements au cours des prochaines décennies et la façon dont les risques climatiques peuvent impacter l'échéancier.

Limitations

L'approche du BRF présente également certaines limitations.

- Les élasticités des coûts liés au climat ont été calculées pour un bien moyen, comme un édifice typique ou un tronçon routier typique. Bien que les résultats soient raisonnables sur la base d'une classe de biens, ils pourraient ne pas s'appliquer à des biens spécifiques. De la même manière, une élasticité des coûts liés au climat est utilisée pour chaque type de biens, quel que soit l'état ou l'âge du bien. Les biens en moins bon état ou construits selon des normes de conception anciennes seraient impactés différemment par les risques climatiques que les biens en meilleur état ou construits plus récemment. Des recherches plus poussées pourraient affiner les élasticités des coûts liés au climat en fonction de ces éléments.
- Les élasticités des coûts climatiques ont été estimées à l'échelle provinciale et utilisées conjointement avec les projections climatiques régionales. En tant que tels, les résultats régionaux ne tiennent pas compte de possibles différences régionales sur le plan de l'ingénierie, que ce soit dans la conception des infrastructures ou l'utilisation de matériaux de construction.
- L'approche du BRF aborde l'impact de chaque risque climatique indépendamment et ne prend pas en compte les interdépendances significatives entre les infrastructures publiques. Les épisodes climatiques extrêmes ont souvent provoqué des défaillances d'infrastructures en cascade, par exemple les tempêtes qui coupent le courant des pompes souterraines de puisards, provoquant des dégâts importants dus aux inondations. De plus, de multiples risques simultanés ne s'additionnent pas forcément. Cette incapacité à modéliser correctement ces interdépendances est une des raisons pour lesquelles le coût des risques calculé par le BRF doit être considéré comme une estimation minimale.
- Le présent projet examine certains impacts du changement climatique sur la capacité de service des infrastructures. Par exemple, l'installation de climatisation dans les bâtiments pour réguler les températures ou le remplacement de canalisations d'eaux pluviales dont la capacité doit être améliorée. Les modèles de détérioration des infrastructures ne peuvent nous instruire des impacts de ce type sur la capacité de service, et les hypothèses requises pour les inclure sont une source d'incertitude supplémentaire.
- L'atténuation des émissions de gaz à effet de serre est de plus en plus intégrée aux décisions de gestion et de conception des infrastructures, ce qui peut affecter le coût des futures constructions et remise en état. Les mesures d'atténuation n'ont pas été incluses dans cette étude et constituent un possible champ de recherche pour l'avenir.

Les résultats du BRF doivent être considérés comme représentant les impacts minimaux des coûts

En plus d'exclure l'impact des interdépendances infrastructurelles, il existe d'autres raisons pour lesquelles les calculs du coût des dommages par le BRF doivent être considérés comme des estimations minimales.

- Le champ d'application du projet est limité à un sous-ensemble de biens publics existants appartenant à la province et aux municipalités. Ne sont pas évalués les impacts du changement climatique sur les machines et les équipements de la province et des municipalités, les infrastructures fédérales et privées ou tout nouveau bien qui pourrait être construit au cours des prochaines décennies.
- Cette analyse suppose que tous les biens sont maintenus en bon état de fonctionnement et que toute dépense financière ou de fonctionnement nécessaire est disponible et réalisée par la province et les municipalités de l'Ontario. Cependant, le BRF a estimé que des déficits infrastructurels significatifs existent autant au niveau provincial, qu'au niveau municipal. À l'avenir, les contraintes budgétaires pourraient limiter la capacité des gouvernements à gérer ces déficits et les biens en moins bon état sont souvent plus vulnérables aux risques climatiques.
- Cette analyse examine uniquement un sous-ensemble de risques climatiques pertinents pour l'infrastructure publique. Bien que le BRF ait choisi de se concentrer sur les risques pour lesquels les projections avaient un degré de confiance scientifique plus élevé, de nombreux risques climatiques potentiels importants, tels que les feux de forêt et les crues de rivières ne sont pas inclus (voir le chapitre 2).



4 | Annexe

Modèle de détérioration de l'infrastructure

Le modèle de détérioration de l'infrastructure utilisé dans ce projet est largement basé sur un cadre de modélisation fourni par le ministère de l'Infrastructure de l'Ontario et approfondi par le BRF. Ce modèle évalue les données infrastructurelles au travers d'une série de décisions portant sur la gestion simplifiée des biens. Bien que le modèle réplique les décisions prises par les gestionnaires de biens dans ce cadre simple, il a été conçu principalement comme modèle financier afin d'estimer les coûts d'infrastructure et n'a pas été prévu pour répliquer ou prévoir les interventions spécifiques des gestionnaires de biens.

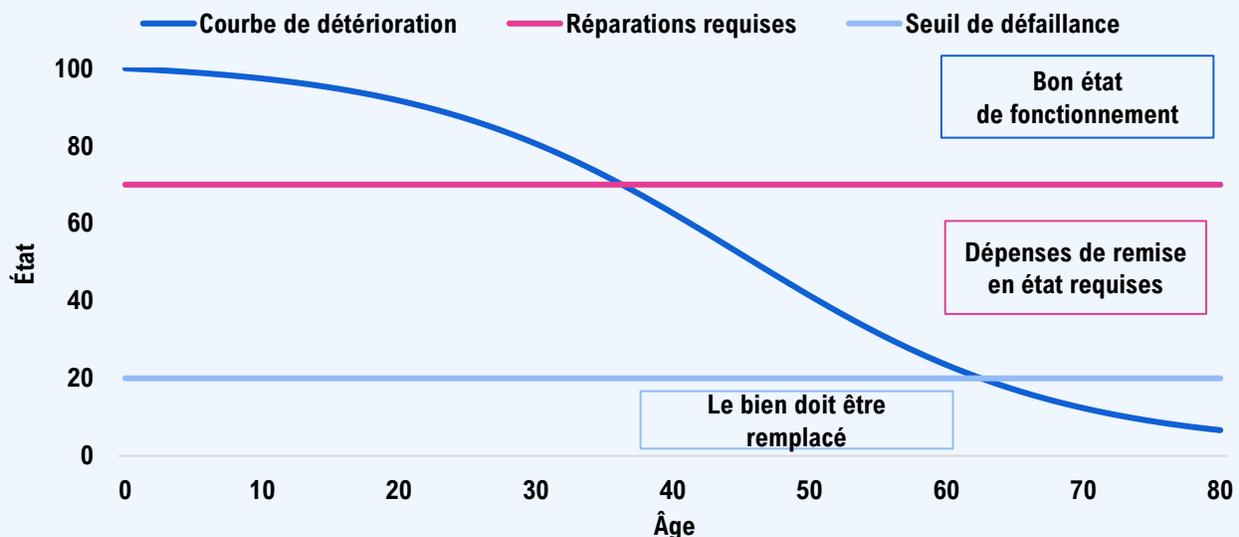
Les estimations financières du modèle dépendent des données et de la méthodologie utilisées dans ce rapport. Par exemple, les gestionnaires de biens peuvent avoir des visions différentes de ce qui est un « bon état de fonctionnement » pour une classe particulière de biens. La supposition que les définitions sont sujettes à discussion est nécessaire¹⁰⁴.

Modélisation de la détérioration de l'infrastructure en l'absence de changement climatique

Pour modéliser la détérioration de l'infrastructure et ses coûts associés en l'absence de changement climatique, les biens sont représentés par des courbes standardisées de détérioration, spécifiques au type de biens. La plupart de ces courbes ont été élaborées par le ministère de l'Infrastructure et les ministères possédant un portefeuille de biens et elles décrivent typiquement la façon dont l'état des biens évolue dans le temps.

Graphique 4-1

Cadre de modélisation de la détérioration de l'infrastructure



Source : BRF.

La courbe bleu foncé du graphique 4-1 représente une courbe stylisée de détérioration. Une courbe de détérioration de biens peut également être représentée par l'équation suivante :

¹⁰⁴ La province et les municipalités de l'Ontario gèrent un portefeuille diversifié de biens et peuvent recourir à différentes méthodologies pour déterminer les dépenses d'immobilisation et de fonctionnement de leurs biens.

$$Condition = \frac{1}{1 + \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)^{\left(1-\frac{Age}{\beta}\right)}} + \varepsilon$$

Ici, β et ε sont des paramètres de courbe¹⁰⁵ spécifiques à une classe de biens (voir le tableau 4-1). Ces paramètres déterminent la forme de chaque courbe d'état.

Les biens se détériorent avec le temps et se déplacent le long de leurs courbes de détérioration respectives. Ils sont évalués par rapport à des normes de performance. Ces normes de performance sont en grande partie fournies au BRF par le ministère de l'Infrastructure, à l'exception des biens d'infrastructure des eaux (potable, de pluie et usées) pour lesquels le BRF a élaboré des normes en collaboration avec les ingénieurs du WSP. Ces normes de performance déterminent, le cas échéant, quels types de dépenses en immobilisations sont nécessaires et incluent :

- Objectifs des réparations – correspond aux états dans lesquels, ou au-delà desquels, un bien ne requiert aucune dépense en immobilisation et est considéré comme étant acceptable, autant au regard de l'évaluation de sa qualité sur le plan de l'ingénierie, que de la gestion des coûts. Les biens dont l'état est équivalent ou supérieur aux objectifs des réparations sont considérés en bon état de fonctionnement.
- Seuil de défaillance – L'état dans lequel un bien est considéré comme ne pouvant être remis en état et devrait être remplacé.
- Vie utile projetée – Nombre d'années de service projeté lors de la conception du bien. Généralement, les biens restent en service plus longtemps qu'initialement prévu. Le BRF assume que tous les types de biens peuvent rester en service pendant une durée deux fois plus longue que leur vie utile projetée s'ils sont remis en état en temps opportun. Le BRF définit le double de la vie utile projetée d'un bien comme sa vie de service utile.

Selon l'état et les normes de performance d'un bien au tableau 4-1, le modèle applique la logique définie au tableau 4-2 pour déterminer si des dépenses en immobilisations sont nécessaires, et de quel type, le cas échéant. Une fois le type de dépenses en immobilisations déterminé, cette dépense est appliquée aux biens concernés. La réparation est ensuite reflétée dans l'état actualisé du bien.

Le modèle estime également les coûts de fonctionnement en incorporant les coûts du programme de fonctionnement et d'entretien (F et E) spécifique à la classe du bien. Ces coûts de fonctionnement sont annuels. Les coûts de F et E sont basés sur la valeur actuelle de réfection des biens. Le BRF estime les dépenses de F et E sur la base de l'équation suivante :

$$F \text{ et } E = VRA \times \text{portion de } F \text{ et } E$$

Ici, la portion de F et E par classe de biens est calculée comme une dépense de F et E typique par rapport à la valeur de remplacement actuelle du bien.

Les normes de performance de chaque type de biens utilisées dans le modèle sont décrites dans le tableau 4-1.

Les gestionnaires de biens doivent évaluer le coût des réparations par rapport à bien d'autres considérations, dans un contexte de contraintes budgétaires. Cependant, le modèle n'intègre pas ces contraintes budgétaires et part du principe que toutes les dépenses d'immobilisation et de F et E interviennent dans l'année requise. Si un bien nécessite une remise en état aujourd'hui, elle sera donc effectuée et le bien sera remis en bon état de fonctionnement, soit par une remise en état ou par une réfection.

¹⁰⁵ β détermine la vitesse à laquelle un bien se détériore, alors que ε indique l'état minimal autorisé.

Intégration de l'impact des risques climatiques dans le modèle

Pour intégrer les impacts de certains risques climatiques au cadre de modélisation, plusieurs ajustements sont apportés au processus décrit plus haut. Ceci inclut l'ajustement de la part de F et E du bien et de la vie utile de service, ainsi que l'ajout de l'adaptation, en tant qu'option, dans les décisions de dépenses en immobilisations, soit par l'entremise de rénovations ou de réfections.

Ces ajustements se font sur la base de l'impact des risques climatiques, qui est déterminé en multipliant les élasticité des coûts définies relatif au climat par le WSP par le pourcentage de changement de l'indicateur climatique pertinent (ou par la variation des indicateurs de température). Pour les coûts des dommages, qui incluent les dépenses de F et E et une réduction de la vie utile de service, le changement de l'indicateur de risque climatique par rapport à sa valeur de base est actualisé tous les dix ans pour refléter l'évolution du changement climatique. Pour les coûts d'adaptation, le changement de l'indicateur de risque climatique par rapport à sa valeur de référence est calculé sur la moyenne décennale 2080 de l'indicateur. Ceci afin que les biens soient adaptés en fonction des risques climatiques attendus dans le futur, et pas uniquement pour le climat actuel.

Une fois ces ajustements intégrés au modèle, ce dernier fonctionne à peu près comme dans le scénario de référence en l'absence de changement climatique. Les biens se détériorent et sont évalués par rapport aux normes de performance. Les biens poursuivent leur détérioration ou bien, ils sont réparés dans le cadre d'une remise en état ou d'une réfection, alors que les dépenses de F et E sont récurrentes annuellement.

Les sections suivantes décrivent comment chaque ajustement est intégré dans le modèle. Les ajustements présentés dans cette section présument que les trois risques climatiques ont été évalués. C'est le cas pour les bâtiments, mais pour les autres types de biens, seulement un ou deux risques ont été évalués.

Impact des risques climatiques sur les dépenses de F et E

L'impact des changements provoqués par certains risques climatiques sur les coûts de F et E d'un bien est basé sur la formule suivante :

$$F \text{ et } E_{CC} = VRA \times \left[\text{portuin de F et E} + \alpha_{F \text{ et } E, XR} \times \Delta C_{XR} + \alpha_{F \text{ et } E, XH} \times \Delta C_{XH} + \alpha_{F \text{ et } E, CGD} \times \Delta C_{CGD} \right]$$

où

$\alpha_{F \text{ et } E, XR}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des épisodes pluvieux extrêmes sur l'adaptation par rénovation

ΔC_{XR} est le changement¹⁰⁶ de l'indicateur d'épisodes pluvieux extrêmes par rapport à la période de référence (1976-2005)

$\alpha_{F \text{ et } E, XH}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des épisodes de chaleur extrême sur l'adaptation par rénovation

ΔC_{XH} est le changement de l'indicateur de chaleur extrême par rapport à la période de référence

$\alpha_{F \text{ et } E, CGD}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des cycles de gel-dégel sur l'adaptation par rénovation

¹⁰⁶ Les indicateurs climatiques annuels sont nivelés en valeurs moyennes par décennie afin d'éliminer les variations annuelles et d'identifier les tendances à long terme.

ΔC_{CGD} est le changement de l'indicateur des cycles de gel-dégel par rapport à la période de référence

Cependant, si le bien a été adapté, les dépenses de F et E reviennent à l'équation originale décrite ci-dessus en l'absence de changement climatique.

$$F \text{ et } E = VRA \times \text{portion de } F \text{ et } E$$

Impact des risques climatiques sur la vie utile de service

L'impact des changements provoqués par certains risques climatiques sur les coûts de la vie utile de service d'un bien est basé sur la formule suivante :

$$VUS_{cc} = VUS \times [1 + (\alpha_{VUS,XR} \times \Delta C_{XR} + \alpha_{VUS,XH} \times \Delta C_{XH} + \alpha_{VUS,FTC} \times \Delta C_{CGD})]$$

où

$\alpha_{VUS,XR}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des épisodes pluvieux extrêmes sur la vie utile de service

ΔC_{XR} est le changement de l'indicateur d'épisodes pluvieux extrêmes par rapport à la période de référence

$\alpha_{VUS,XH}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des épisodes de chaleur extrême sur la vie utile de service

ΔC_{XH} est le changement de l'indicateur de chaleur extrême par rapport à la période de référence

$\alpha_{VUS,CGD}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des cycles de gel-dégel sur la vie utile de service

ΔC_{CGD} est le changement de l'indicateur des cycles de gel-dégel par rapport à la période de référence

Cette vie utile de service impactée par les risques climatiques actualisée (VUS_{cc}) est ensuite convertie en vie utile projetée (VUP) par la formule suivante :

$$VUP_{cc} = VUP \times \frac{VUS_{cc}}{VUS}$$

La « vie utile projetée ajustée selon le climat » (VUP_{cc}) est ensuite entrée dans la formule ci-dessous (qui est un réagencement de la formule originale pour la résolution de la valeur de β).

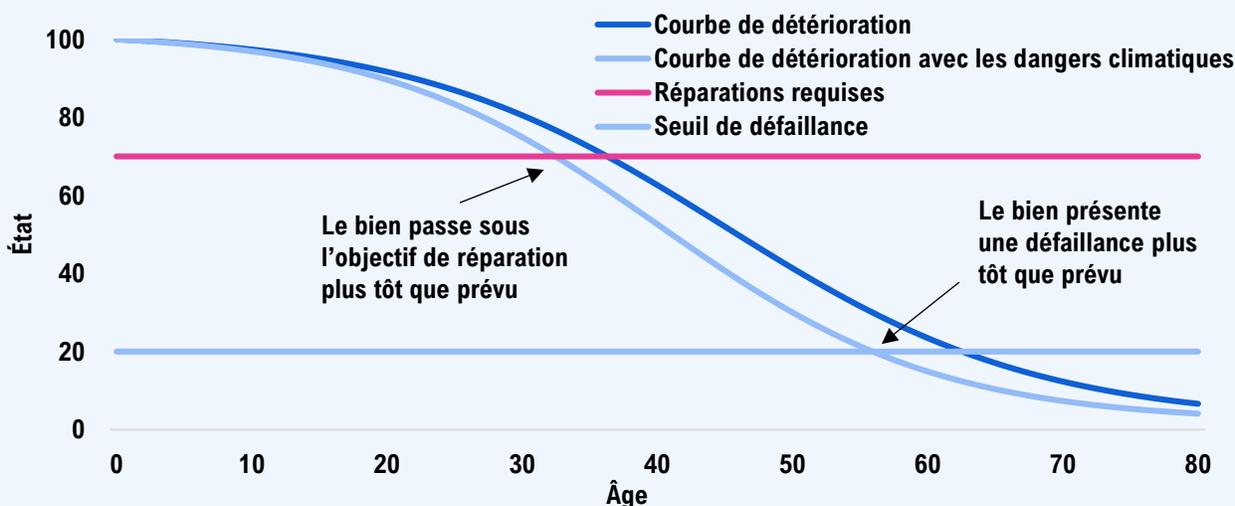
$$\beta_{cc} = \frac{VUP_{cc}}{\left[1 - \frac{\log \left[\frac{1}{1 - (1 - \text{Seuil de défaillance}) - \varepsilon} \right]}{\log \left[\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right]} \right]}$$

La valeur β « ajustée selon le climat » (β_{cc}) détermine la nouvelle vitesse de détérioration du bien après l'intégration de l'impact des risques climatiques dans la vie utile de service du bien. Le graphique 4-2 représente la façon dont une courbe de détérioration peut varier après intégration des risques climatiques, qui entraînent généralement (mais pas toujours) une baisse de la durée de vie utile du bien.

Cette vitesse de détérioration actualisée est utilisée dans le cadre décrit au tableau 4-2 afin de calculer les dépenses en immobilisations nécessaires pour le bien dans le temps. Cette détérioration plus rapide signifie que le bien ne sera plus en bon état de fonctionnement dans un délai plus court, ce qui nécessitera des mises en état plus tôt et plus fréquentes. De plus, le bien atteint son seuil de défaillance plus tôt, ce qui entraîne une réfection plus précoce. Ce nouveau taux de détérioration est appliqué jusqu'à ce que le bien soit adapté; à ce stade, la courbe revient à sa forme originale (voir les sections sur les adaptations par réfection et par remise en état ci-dessous).

Graphique 4-2

L'intégration des risques climatiques change le taux de détérioration et la vie utile de service



Source : BRF.

Impact des risques climatiques sur le coût des adaptations par réfection

Les réfections constituent une option pour l'adaptation des bâtiments à la fin de leur vie utile de service. La réfection a un coût unique calculé par la formule suivante:

$$Réfection_{cc} = VRA \times [1 \times (\alpha_{RFC,XR} \times \Delta C_{XR} + \alpha_{RFC,XH} \times \Delta C_{XH} + \alpha_{RFC,CGD} \times \Delta C_{CGD})]$$

où

$\alpha_{RFC,XR}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des épisodes pluvieux extrêmes sur l'adaptation par réfection

ΔC_{XR} est le changement de l'indicateur d'épisodes pluvieux extrêmes par rapport à la période de référence

$\alpha_{RFC,XH}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des épisodes de chaleur extrême sur l'adaptation par réfection

ΔC_{XH} est le changement de l'indicateur de chaleur extrême par rapport à la période de référence

$\alpha_{RFC,CGD}$ est l'élasticité des coûts liés au climat découlant des cycles de gel-dégel sur l'adaptation par réfection

ΔC_{CGD} est le changement de l'indicateur des cycles de gel-dégel par rapport à la période de référence

Une fois un bien adapté par réfection, sa valeur actuelle de réfection change également. Le changement de la valeur actuelle de réfection du bien est égal au coût de l'adaptation par réfection donné dans la formule ci-dessus. En pratique, ceci signifie que les coûts de F et E et les dépenses d'immobilisations reflètent également ce changement (c.-à-d., si la valeur actuelle de réfection adaptée d'un bien est supérieure à sa valeur actuelle de réfection non adaptée, les coûts de F et E et les futurs coûts de remise en état et de réfection augmentent également).

Une fois un bien adapté par réfection, sa courbe de détérioration et ses dépenses de F et E reflètent cette adaptation. Si un bien est adapté pour toutes les variables de changement climatique, sa courbe de détérioration et sa part de F et E reviennent à leurs valeurs d'origine. Si un bien est adapté à un risque, mais pas aux deux autres, sa courbe de détérioration et ses dépenses de F et E reflètent cette adaptation sélective¹⁰⁷.

Impact des risques climatiques sur le coût des adaptations par rénovation

Les rénovations constituent une option pour l'adaptation des bâtiments qui ne sont pas à la fin de leur vie utile de service. Dans le cadre de travail du modèle, les rénovations sont réalisées en même temps qu'une remise en état¹⁰⁸. Par exemple, un nouveau bien ne peut être rénové tant qu'il ne s'est pas détérioré en dessous de son état de bon fonctionnement et qu'il est devenu admissible à une réparation.

Les dépenses de rénovation sont des coûts uniques ponctuels calculés à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Rénovation}_{cc} = VRA \times (\alpha_{RNV, XR} \times \Delta C_{XR} + \alpha_{RNV, XH} \times \Delta C_{XH} + \alpha_{RNV, CGD} \times \Delta C_{CGD})$$

où

$\alpha_{RNV, XR}$ est l'élasticité climatique des épisodes pluvieux extrêmes sur l'adaptation par rénovation

ΔC_{XR} est le changement de l'indicateur d'épisodes pluvieux extrêmes par rapport à la période de référence

$\alpha_{RNV, XH}$ est l'élasticité climatique des épisodes de chaleur extrême sur l'adaptation par rénovation

ΔC_{XH} est le changement de l'indicateur de chaleur extrême par rapport à la période de référence

$\alpha_{RNV, CGD}$ est l'élasticité climatique des cycles de gel-dégel sur l'adaptation par rénovation

ΔC_{CGD} est le changement de l'indicateur des cycles de gel-dégel par rapport à la période de référence

Une fois un bien adapté par rénovation, sa valeur actuelle de remplacement change également. Le changement de la valeur actuelle de remplacement du bien est égal au coût de l'adaptation par réfection. Ceci est donné par la même formule que celle utilisée pour calculer les coûts d'adaptation par réfection décrite dans la sous-section précédente. En pratique, ceci signifie que les coûts de F et E et les dépenses d'immobilisations reflètent également ce changement (c.-à-d., si la valeur actuelle de remplacement adaptée d'un bien est supérieure à sa valeur de remplacement actuelle non adaptée, les coûts de F et E et les futurs coûts de remise en état et de remplacement augmentent également).

Une fois un bien adapté par rénovation, sa courbe de détérioration et ses dépenses de F et E reflètent cette adaptation. Si un bien est adapté pour tous les risques climatiques, sa courbe de détérioration et ses coûts de F et E reviennent à la courbe d'origine en l'absence de changement climatique. Si un bien est adapté à un risque, mais pas aux deux autres, sa courbe de détérioration et ses dépenses de F et E reflètent cette adaptation sélective.

¹⁰⁷ Par exemple, si un bien est adapté à la chaleur extrême et aux épisodes pluvieux extrêmes, mais pas aux cycles de gel/dégel, la courbe de détérioration du bien ne reflète plus l'impact de la chaleur extrême et des épisodes pluvieux extrêmes, mais reflète l'impact des cycles de gèle/dégèle. Ce même principe s'applique aux dépenses de F et E.

¹⁰⁸ Lorsque les gestionnaires de biens entreprennent des modernisations et des remises en état, lorsqu'ils les jugent appropriées, ceci a pour objectif de simplifier les décisions possibles dans le cadre du modèle.

Tableau 4-1

Normes de performance et coûts du cycle de vie par secteur et type de biens

Secteur	Classe de biens	Type de biens	Réparations requises	Seuils de défaillance	Beta	Epsilon	Vie utile projetée (années)	Vie utile de service (années)	Part du F et E (% de VRA)
Transport en commun	Bâtiments		90	35	15,0	0,01	17	34	1,5 %
	Ingénierie		90	35	18,5	0,01	21	42	1,5 %
Ponts et ponceaux	Ingénierie	Nouveaux ponts	76	40	20,0	0,25	52	103	1,0 %
		Vieux ponts, obsolètes	76	45	20,0	0,20	36	72	1,0 %
Routes	Ingénierie	Artères principales	80	35	24,0	0,05	31	62	1,5 %
		Routes collectrices	75	40	19,0	0,15	31	62	1,5 %
		Autoroutes	80	55	13,0	0,31	32	63	1,5 %
		Routes locales	70	35	13,0	0,21	31	62	1,0 %
Eau potable	Bâtiments	Installations de traitement de l'eau potable	70	15	45,0	0,02	67	134	1,5 %
Eaux pluviales	Bâtiments	Installation de traitement des eaux pluviales	70	15	45,0	0,02	67	134	1,5 %
		Ingénierie	Petites conduites	55	25	47,9	0,01	60	120
	Ingénierie	Conduites moyennes	55	25	51,0	0,01	64	128	1,0 %
		Grosses conduites	55	25	58,4	0,01	73	146	1,0 %
		Conduites d'un diamètre inconnu	55	25	50,5	0,01	63	126	1,0 %
		Fossé	55	25	41,5	0,01	52	104	1,0 %
		Ponceau	55	25	34,7	0,01	43	87	1,0 %
Eaux usées	Bâtiments	Installations de traitement des eaux usées	70	15	45,0	0,02	67	134	1,5 %
		Ingénierie	Petites conduites	60	30	56,2	0,01	67	134
	Ingénierie	Conduites moyennes	60	30	58,4	0,01	70	139	1,0 %
		Grosses conduites	60	30	61,7	0,01	74	147	1,0 %
		Conduites d'un diamètre inconnu	60	30	52,8	0,01	63	126	1,0 %
		Égouts sanitaires principaux	60	30	53,4	0,01	64	128	1,0 %
Hôpitaux	Bâtiments		79	20	30,0	0,01	39	78	1,5 %
Écoles	Bâtiments		80	20	30,0	0,01	39	78	1,4 %
Collèges	Bâtiments		85	20	30,0	0,01	39	78	1,5 %
Autres bâtiments et installations	Bâtiments	Bâtiments municipaux et installations	80	20	35,0	0,02	49	97	1,5 %
		Administration gouvernementale et ministère des Richesses naturelles et des Forêts	70	15	45,0	0,02	67	134	1,5 %
		Palais de justice	85	20	40,0	0,02	56	111	1,5 %
		Installations carcérales	85	20	35,0	0,02	49	97	1,5 %
		Bâtiments pour soins de longue durée	79	20	30,0	0,01	39	79	1,5 %
	Ingénierie	Portefeuille immobilier général	80	20	35,0	0,02	49	98	1,5 %
		Administration gouvernementale et ministère des Richesses naturelles et des Forêts	72	20	39,0	0,01	51	102	1,5 %

Source : Ministère de l'Infrastructure de l'Ontario et BRF.

Tableau 4-2

Logique du modèle pour l'estimation des dépenses en immobilisations nécessaires pour l'infrastructure publique

Si le bien est dans un état...	État de fonctionnement du bien	Dépense en immobilisations requise	Type de dépenses en immobilisations	Déficit infrastructurel
1. Équivalent ou supérieur à la catégorie « objectif des réparations »	En bon état de fonctionnement	Non	S.O.	Zéro
1. Inférieur à la catégorie « objectif des réparations » moins « tampon de réparation* », ET	N'est pas en bon état de fonctionnement	Oui	Remise en état	Montant nécessaire pour que le bien passe à la catégorie « objectif des réparations » 109
2. Supérieur à la catégorie « seuil de défaillance », ET				
3. Dont l'âge est égal ou moindre que 80 % de sa vie utile projetée				
1. Inférieur à la catégorie « objectif des réparations », ET	N'est pas en bon état de fonctionnement	Non	S.O.	Zéro. On laissera ces biens se détériorer jusqu'à leur seuil de défaillance, après quoi ils seront remplacés.
2. Supérieur à la catégorie « seuil de défaillance », ET				
3. Dont l'âge est supérieur à 80 % de sa vie utile projetée				
1. Équivalent ou inférieur au seuil de défaillance	N'est pas en bon état de fonctionnement	Oui	Réfection	Montant équivalent à la VRA

*** Le tampon de réparation a été intégré pour limiter le nombre et la fréquence des remises en état durant la vie du bien. Si aucun tampon n'est intégré, le bien se détériore jusqu'à passer sous le seuil de « réparations requises » et sera remis en état les années subséquentes. Des dépenses en immobilisation seront alors engendrées chaque année de la vie du bien.**

Source : BRF, à partir du modèle de réfection du ministère de l'Infrastructure de l'Ontario.

¹⁰⁹ Pour estimer les coûts de remise en état, le BRF présume qu'il existe une corrélation directe entre la mesure de l'état de fonctionnement d'un bien et sa valeur de remplacement actuelle. Par exemple, si l'indice d'état de fonctionnement d'un bien est de 70 et que son objectif de réparation est de 85, le calcul des coûts de remise en état se fait en multipliant la VRA du bien en question par la différence entre l'objectif de fonctionnement et l'indice de son état actuel, c'est-à-dire, $VRA \times [(85-70) / 100]$. Cette méthode s'applique aussi aux biens évalués au moyen de l'indice de l'état des installations (IEI), lorsqu'on se base sur la définition et les calculs de l'IEI. Toutefois, s'il s'agit de biens dont l'état est déterminé au moyen de l'indice de l'état de la chaussée, de l'indice de l'état des ponts (BCI) ou de toute autre façon, cette corrélation est supposée. Les gestionnaires de biens peuvent faire appel à différentes approches pour les travaux de réfection et de remise en état de leurs biens.

5 | Bibliographie

- Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017, *National Infrastructure and Buildings Working Group: Adaptation State of Play Report*. Préparé pour le Groupe de travail sur les infrastructures et bâtiments, qui fait partie de la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques.
- Bush, E. et Lemmen, D.S., éditeurs, 2019, *Rapport sur le climat changeant du Canada*, gouvernement du Canada.
- Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X. et Zwiers, F.W., 2020, *Bâtiments et infrastructures publiques de base résistants aux changements climatiques : Évaluation des effets des changements climatiques sur les données de conception climatique au Canada*, gouvernement du Canada.
- Conseil des académies canadiennes, 2019, *Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada*, Le comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation, Conseil des académies canadiennes.
- Groupe CSA, 2019, *CSA PLUS 4013:F19 : Guide technique : Élaboration, interprétation et utilisation de l'information relative à l'intensité, à la durée et à la fréquence (IDF) des chutes de pluie : guide à l'intention des spécialistes canadiens en matière de ressources en eau*.
- Comité d'experts sur l'adaptation au changement climatique, 2009, *Adapting to Climate Change in Ontario : Towards the Design and Implementation of a Strategy and Action Plan*.
- Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario. 2020. *L'infrastructure provinciale*.
- Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario. 2021. *L'infrastructure municipale*.
- Gouvernement de l'Ontario, 2011, *L'adaptation au changement climatique : Stratégie et plan d'action de l'Ontario*.
- Gouvernement de l'Ontario, 2016, *Plan d'action contre le changement climatique*.
- Gouvernement de l'Ontario, 2018, *Plan environnemental pour l'Ontario*.
- Gouvernement de l'Ontario, 2020, *Protéger les personnes et les biens : Stratégie ontarienne de lutte contre les inondations*.
- L'Institut international du développement durable, 2021, *Renforcer la résilience climatique des infrastructures canadiennes, Une revue de la littérature pour éclairer la voie à suivre*.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Annex II: Climate System Scenario Tables*.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2018, *IPCC Special Report: Global Warming of 1.5°C: Summary for Policymakers*.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2021, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers*.
- Bureau du vérificateur général du Canada, 2018, *Perspectives sur l'action contre les changements climatiques au Canada : Rapport collaboratif de vérificateurs généraux*.

Bureau de la vérificatrice générale de l'Ontario, 2016, *Rapport annuel 2016 du bureau de la vérificatrice générale de l'Ontario*.

Bureau de la vérificatrice générale de l'Ontario, 2019, *Aperçu des enjeux environnementaux en Ontario*.

Ministère des Transports de l'Ontario, 2015, *The Resilience of Ontario Highway Drainage Infrastructure to Climate Change*.

Pacific Climate Impacts Consortium, 2021, *PCIC Science Brief: Should the RCP8.5 emissions scenario represent "business as usual?"*.

Task Force on Climate-related Financial Disclosures, 2017, *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*.

Warren, F. et Lulham, N., éditeurs, 2021, *Canada in a Changing Climate: Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, gouvernement du Canada.

WSP, 2021, *Costing climate change impacts and adaptation for provincial and municipal public infrastructure in Ontario*, Deliverable #10 – Final Report, Toronto, Ontario. Rapport produit pour le Bureau de la responsabilité financière de l'Ontario.



BRF

BUREAU DE LA RESPONSABILITÉ
FINANCIÈRE DE L'ONTARIO

fao-on.org