

SUBMERGÉS

LES COÛTS DES
CHANGEMENTS
CLIMATIQUES POUR
L'INFRASTRUCTURE
AU CANADA

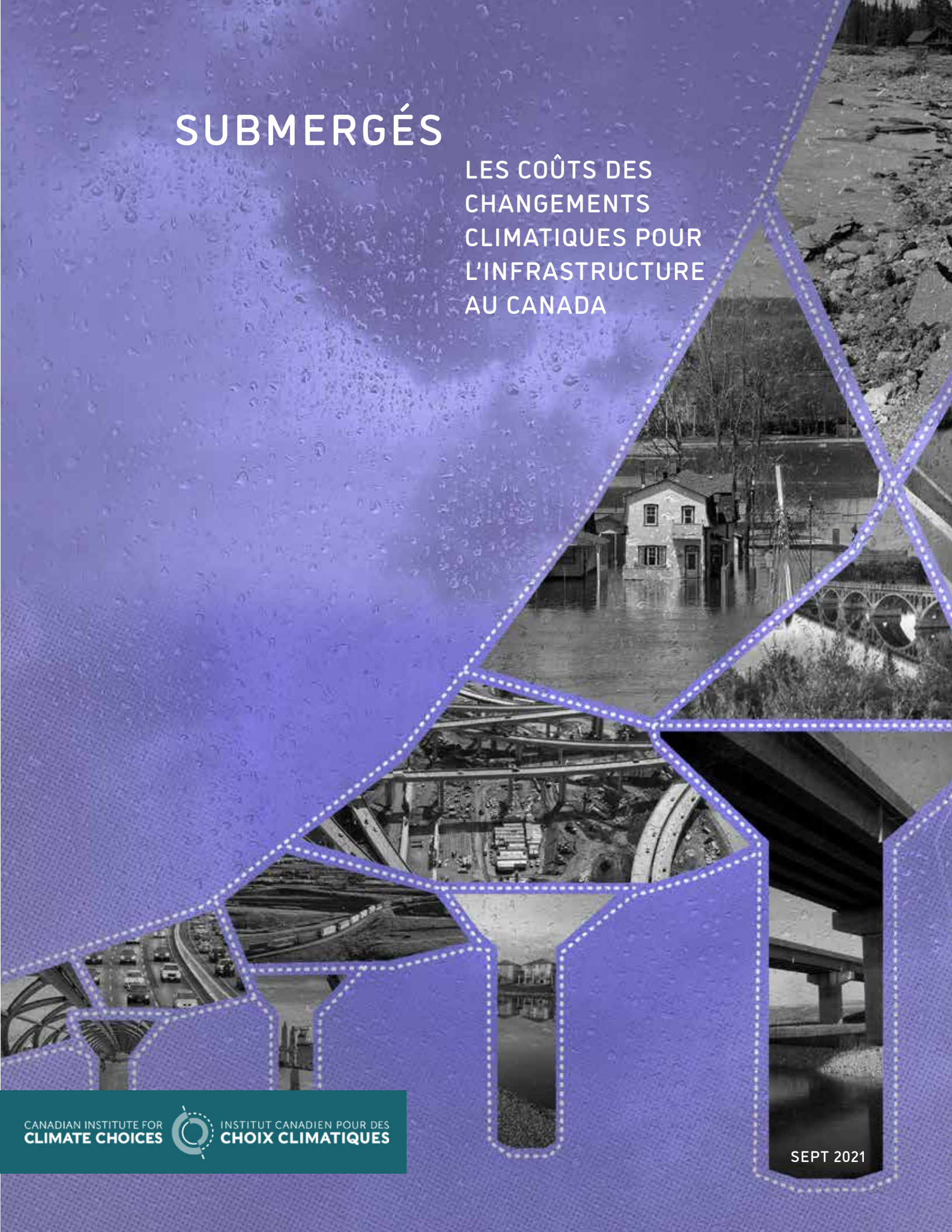


TABLE DES MATIÈRES

Calendrier du projet.....	iii
Résumé.....	iv
1. Introduction.....	1
2. Infrastructures et changements climatiques au Canada	6
3. Notre approche.....	15
4. Répercussions sur les résidences et bâtiments	28
5. Répercussions sur les routes et les voies ferrées.....	41
6. Répercussions sur les réseaux électriques	51
7. Conclusions et recommandations.....	60
Glossaire.....	72
Références.....	76
Remerciements.....	82

L'**Institut canadien pour des choix climatiques** est une collaboration sans précédent d'experts issus d'un large éventail de disciplines et d'organisations partout au pays.

En tant qu'organisation indépendante, non partisane et financée publiquement, l'Institut mène des études rigoureuses et des analyses de fond, et mobilise des parties prenantes et des détenteurs de droits de tous les horizons pour faire la lumière sur les enjeux associés aux changements climatiques et les politiques transformatrices que devra se donner le Canada. Pour en apprendre davantage, visitez choixclimatiques.ca.

Notre recherche sur les coûts associés aux changements climatiques comprend les rapports suivants :

2020



LA POINTE DE L'ICEBERG AUTOMNE 2020

Si nous considérons les coûts des changements climatiques comme un iceberg à l'horizon, ce rapport d'introduction porte sur la pointe de l'iceberg – les dangers connus et mesurables – ainsi que sur les contours de ce qui se trouve sous l'eau.

LES COÛTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LA SANTÉ PRINTEMPS 2021



Un examen plus approfondi des coûts liés à la santé et des possibilités d'adaptation, fondé sur notre analyse des coûts engendrés par les problèmes de santé liés à la chaleur, à la maladie de Lyme et aux changements de la qualité de l'air. Le rapport comprendra une discussion sur les répercussions sur la santé mentale et d'autres coûts plus difficilement quantifiables.



SUBMERGÉS AUTOMNE 2021

Une analyse ciblée sur les coûts d'infrastructure et les possibilités d'adaptation, construite autour de notre modélisation des effets du climat sur les inondations, les infrastructures de transport et les systèmes électriques.

MACROÉCONOMIE PRINTEMPS 2022

À l'aide d'une modélisation macroéconomique nationale des répercussions potentielles des changements climatiques sur les secteurs et les actifs vulnérables, ce rapport décrit les implications des changements climatiques sur la productivité économique et le bien-être.

2022



RÉSUMÉ

Les infrastructures, soit tout notre environnement bâti, sont essentielles à la vie au Canada. En effet, lorsque les infrastructures sont endommagées ou ne sont pas optimales, c'est la santé et la sécurité des gens, leurs moyens de subsistance et la vigueur de l'économie qui sont en péril. Les changements climatiques accroissent les risques de perturbation des services et de dommages aux infrastructures partout au pays, infrastructures dont les coûts de réparation et d'entretien représentent déjà un défi d'envergure.

À ce jour, l'ampleur des risques pour les infrastructures canadiennes est mal comprise. Le présent rapport porte sur les dommages qu'un climat en réchauffement et de plus en plus imprévisible pourraient causer aux infrastructures du pays, et sur ce que peuvent faire les administrations canadiennes pour se préparer et réduire les dommages, les perturbations et les coûts.

Nous estimons que certaines des plus importantes infrastructures du pays pourraient être touchées (maisons et bâtiments, routes et chemins de fer, systèmes électriques, etc.), et évaluons l'incidence de différentes décisions d'adaptation sur les coûts à venir. Selon nos constats, pour assurer la pérennité des nouvelles infrastructures et de celles qui existent déjà, il faut entamer un virage majeur pour que les investissements favorisent la résilience des infrastructures. Ce sont des changements aux politiques qui provoqueront ce virage : le Canada doit rapidement revoir ses politiques, codes, règlements et décisions de financement pour déterminer ce qui sera construit et comment se fera l'entretien.

C'est certes chose plus facile à dire qu'à faire. Même sans tenir compte des contraintes supplémentaires qui découlent du réchauffement climatique, le Canada est déjà aux prises avec d'importants défis relativement à l'intégrité des routes, des ponts, des bâtiments, des systèmes de communication, des réseaux d'approvisionnement en eau et d'égouts, des réseaux électriques et des résidences. La détérioration des routes et des réseaux électriques et la lente modernisation des couloirs de transport et des réseaux de transport en commun nuisent aux affaires, au commerce et à la croissance économique. Et l'accès à l'eau potable et à un logement sûr demeure un besoin criant pour des dizaines de milliers de personnes – particulièrement dans les communautés autochtones –, ce qui mine la santé, la sécurité et la prospérité. Les travaux de réparation et de modernisation nécessaires se font déjà attendre depuis longtemps et le financement est insuffisant, certains estimant les fonds requis pour corriger la situation à 250 milliards de dollars. De plus, à certains endroits, comme dans la majorité des collectivités des Premières Nations, métisses et inuites, les infrastructures essentielles n'ont jamais été construites, et en raison de la pression accrue exercée par les changements climatiques, il sera encore plus difficile de remédier à ces inégalités.

Qui plus est, la transition du Canada vers la carboneutralité nécessitera des investissements majeurs dans les infrastructures (bâtiments, modes de transport et réseaux électriques sobres en carbone). Si ces investissements

se font comme il se doit, ils contribueront à combler les lacunes et à accroître la résilience des infrastructures canadiennes face aux changements climatiques. S'ils ne sont pas optimaux, ils augmenteront le nombre d'infrastructures risquant d'être endommagées en raison des changements climatiques et aggraveront les lacunes.

Le Canada a clairement la possibilité de répondre aux besoins en matière d'infrastructures tout en appliquant les principes de résilience climatique à ses infrastructures dès la conception. S'il ne tient pas compte des risques climatiques et des avantages associés à la résilience, il ne fera qu'accroître ses coûts et exacerber ses problèmes.

CONSTATS

► **Le coût des dommages et des perturbations associés aux changements climatiques qui affecteront les infrastructures du Canada, lesquelles sont vulnérables en raison de décennies de sous-investissement, pourrait être majeur.**

Le réchauffement au pays accélérera les dommages liés au climat et aux intempéries sur certaines des plus importantes infrastructures. Avec l'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des pluies, les dommages aux résidences et aux bâtiments causés par les inondations pourraient quintupler dans les prochaines décennies, et être multipliés par 10 d'ici la fin du siècle, ce qui entraînerait des coûts annuels pouvant atteindre 13,6 milliards de dollars. Les dommages causés aux routes et aux voies ferrées par les températures et les précipitations pourraient augmenter de 5,4 milliards de dollars par an d'ici le milieu du siècle et de 12,8 milliards de dollars par an d'ici la fin du siècle. Enfin, les dommages causés aux réseaux de transmission et de distribution d'électricité par la chaleur et les précipitations pourraient plus que doubler d'ici le milieu du siècle et tripler d'ici sa fin, ce qui entraînerait annuellement des coûts pouvant s'élever à 4,1 milliards de dollars pour les services publics et les contribuables.

Les administrations, les services publics, les entreprises et les propriétaires des quatre coins du pays ont déjà de la difficulté à entretenir les infrastructures existantes et à construire celles qui sont nécessaires. L'augmentation des dommages et des perturbations causés par les changements climatiques pourrait encore davantage compliquer les choses – et gonfler la facture.

► **Investir de manière proactive dans l'adaptation des infrastructures constitue le moyen le plus efficace de protéger les services dont dépendent les gens, les entreprises et l'économie.**

Les investissements précoces dans l'adaptation peuvent réduire considérablement les répercussions et les coûts associés aux infrastructures qui sont causés par le réchauffement et les fluctuations climatiques. La construction de remparts et le déplacement de résidences hors des zones à haut risque pourraient réduire annuellement les coûts des inondations côtières de 90 % (soit un milliard de dollars) d'ici 2100. Pour le revêtement de la chaussée, l'utilisation de mélanges d'asphalte et de matériaux de base pouvant résister aux conditions climatiques futures peut permettre de réduire les coûts de 90 %, ce qui pourrait représenter des économies de 4,1 milliards de dollars par année d'ici 2050. De même, le remplacement des composants des réseaux de transmission et de distribution d'électricité par de nouveaux composants conçus pour résister à la chaleur et aux pluies anticipées dans les prochaines décennies lors de travaux d'entretien régulier pourrait réduire les coûts des dommages de 80 % d'ici la fin du siècle (soit 3,1 milliards par année).

Malgré les bénéfices clairs d'investissements précoces et proactifs dans l'adaptation des infrastructures canadiennes aux changements climatiques, les avancées sont peu nombreuses. En effet, les propriétaires d'infrastructures publiques et privées se préoccupent davantage des budgets et bilans à court terme que des plans d'avenir, ignorant les risques à long terme comme les changements climatiques. Les investissements sans précédent à venir en infrastructures au cours des prochaines décennies pour soutenir la transition vers la carboneutralité sont une occasion clé de renforcer la résilience climatique de pratiquement toutes les infrastructures au pays. Cependant, si cette vision à court terme entourant les infrastructures persiste, cette transition ne fera qu'exposer davantage les infrastructures du Canada aux risques découlant des changements climatiques.

► **On ne peut quantifier toutes les répercussions et tous les coûts des changements climatiques touchant les infrastructures : la perte de services et de fiabilité engendrera des conséquences socio-économiques considérables.**

Selon notre analyse, le coût des dommages aux infrastructures essentielles provoqués par les changements climatiques pourrait être énorme; or, il s'agit d'estimations conservatrices. La science du climat n'arrive pas encore à prédire quelle pourrait être l'incidence des changements climatiques sur de nombreux types de phénomènes météorologiques extrêmes dont ne tient pas compte notre analyse (tempêtes de verglas, tornades, ouragans, grêle), qui peuvent causer bien d'autres dommages. D'autres infrastructures essentielles sur lesquelles nous ne nous sommes pas penchés, comme les réseaux de télécommunications et d'approvisionnement en eau potable, les établissements de santé, les ports et les voies maritimes, sont aussi vulnérables aux changements climatiques.

Le coût des répercussions associées aux changements climatiques va également au-delà du prix des dommages matériels et des réparations. Lorsque des infrastructures sont inutilisables ou perdent en fiabilité en raison de dommages fréquents, les services qui y sont associés (transport, électricité, soins de santé, communications, refuges, etc.) sont aussi interrompus. Notre analyse démontre que le coût des retards découlant des dommages causés par les changements climatiques aux routes et chemins de fer pourrait excéder 6,1 milliards de dollars par année pour les transporteurs seulement. Dans les faits, ces effets se feront toutefois ressentir dans les chaînes d'approvisionnement et les différents secteurs, ce qui multipliera les coûts et fera diminuer la productivité économique. De plus, les dommages causés par les changements climatiques, ou le danger qu'ils représentent, pourraient avoir de lourdes conséquences sur la stabilité du système financier, la disponibilité des capitaux et l'offre d'assurances.

► **Le manque d'information sur les risques climatiques, de transparence et de réglementation se traduit par de mauvaises décisions en matière d'infrastructures.**

Au Canada, il existe peu d'information sur les risques climatiques actuels et futurs qui menacent les infrastructures. Par exemple, nous estimons qu'au moins un demi-million de bâtiments à risque d'inondation au pays ne figurent pas sur les cartes des zones inondables produites par le gouvernement. Les cartes disponibles datent en moyenne de 20 ans et ne font état que des risques d'inondation existants, et pratiquement aucune ne tient compte de l'incidence des changements climatiques sur les futurs risques en la matière. Ce manque d'information concerne aussi d'autres dangers climatiques majeurs, dont les feux incontrôlés. Vu l'absence de données, peu de propriétaires d'infrastructures ou d'investisseurs sont en mesure d'évaluer et de gérer les risques climatiques existants et encore moins les risques futurs associés aux changements climatiques.

Les codes et les normes qui régissent la construction et la gestion des infrastructures au Canada tiennent très peu compte des changements climatiques, et les modifications qu'il faudrait leur apporter pour corriger la situation sont à des années d'une entrée en vigueur. Par conséquent, on construit et on exploite les infrastructures en fonction du climat du passé et non des températures plus chaudes et des phénomènes météorologiques extrêmes qui se dessinent à l'horizon. Et les règlements qui encadrent la prise de décisions financières au pays n'obligent pas encore les propriétaires et les investisseurs à évaluer et divulguer les risques liés aux changements climatiques qui pèsent sur les biens matériels et les infrastructures. Les marchés ne tarifient donc pas ces risques et les investissements risqués se poursuivent.

LES BILANS SONT TRUFFÉS DE RISQUES NON DIVULGUÉS, CE QUI MET EN PÉRIL LA PROSPÉRITÉ ET LA QUALITÉ DE VIE AU CANADA

Les conséquences économiques des répercussions liées aux changements climatiques sur les infrastructures du pays vont bien au-delà des coûts de réparation de nids-de-poule ou de reconstruction de résidences inondées. Les coûts cumulatifs des dommages et des perturbations découlant des inondations et des phénomènes météorologiques extrêmes et l'usure accélérée provoquée par le réchauffement, ainsi que les conséquences de ces dommages sur les évaluations foncières, la valeur des biens, les prêts hypothécaires et les primes d'assurances pourraient aussi affecter l'économie. Pourtant, encore aujourd'hui, on ne tient que très peu compte de ces coûts dans les systèmes financiers et les décisions économiques. Les propriétaires d'infrastructures, tant publiques que privées, s'exposeront à une importante dépréciation de leurs actifs, de même qu'à des obstacles à l'obtention de fonds et de crédit, lorsqu'il deviendra évident qu'il existe des risques accrus d'inondations ou d'autres incidents en raison des changements climatiques. Alors que les parties prenantes et les investisseurs des infrastructures publiques et privées s'exposent à ces risques sans le savoir.

À l'heure actuelle, les risques liés aux changements climatiques qui concernent les infrastructures appartenant à des particuliers ou des entreprises (résidences, bâtiments commerciaux, etc.) et les prêts qui les financent ne sont pas pleinement évalués ou divulgués. Par exemple, il est très difficile pour les détenteurs d'actifs au pays d'évaluer les risques associés aux inondations, aux feux incontrôlés et à la fonte du pergélisol, puisqu'il n'existe pas de cartes ou de sources de données nationales et que les données locales sont souvent obsolètes. Ainsi, ni le propriétaire, ni le prêteur hypothécaire, ni le titulaire du titre adossé à des créances hypothécaires ne connaissent l'ampleur des risques climatiques qui menacent la valeur d'une résidence ou d'un bâtiment. En effet, selon nos estimations, d'ici 30 ans, les changements climatiques feront vraisemblablement passer le coût des dommages causés aux résidences et aux bâtiments par les inondations côtières et intérieures à 4,5 ou 5,5 milliards de dollars par année – des coûts de trois à quatre fois plus élevés qu'aujourd'hui. Or, ce manque d'information sur les risques d'inondations et autres risques liés aux changements climatiques signifie que trop peu de propriétaires et d'investisseurs prennent les mesures qui s'imposent pour se protéger. Par exemple, environ 45 % des propriétaires au pays croient que leur compagnie d'assurance paiera pour les réparations et les travaux de reconstruction à la suite

d'une inondation de surface, mais seulement 10 % à 15 % des ménages bénéficient réellement d'une telle couverture. Et les prêteurs hypothécaires n'exigent habituellement pas que les acheteurs de résidences situées en zone inondable disposent de cette couverture.

Il y a aussi lieu de s'inquiéter des risques qui pèsent sur les infrastructures publiques et les grands ouvrages, comme les chemins de fer et les réseaux électriques. Les gouvernements et les autres propriétaires d'infrastructures majeures continuent de concevoir et de construire en fonction de l'environnement d'hier, sans tenir compte des changements climatiques. Les acteurs concernés – utilisateurs, contribuables, prêteurs et investisseurs – ne sont pas conscients, pour la plupart, de l'incidence qu'auront sur eux les conséquences des changements climatiques sur ces grandes infrastructures. Par exemple, selon nos projections, vers 2050, les dommages aux routes causés par les changements climatiques pourraient amener les administrations à dépenser 3,1 milliards de dollars par année pour l'entretien et la réfection, ce qui représente une hausse de près de 20 % par rapport aux dépenses actuelles. Ces coûts affecteront les recettes des administrations municipales, qui sont responsables de la plupart des routes au pays, ce qui finira par se répercuter sur les résidents (augmentation des taxes, routes en mauvais état, retards).

Outre les risques financiers encourus par les propriétaires, les entreprises et les administrations, les dommages et perturbations aux infrastructures causés par les changements climatiques pourraient entraîner des conséquences systémiques majeures. Les coûts cumulatifs des dommages aux infrastructures et de la dépréciation de la valeur des actifs pourraient déstabiliser le système financier canadien. Les prêteurs et les investisseurs seront moins enclins à fournir des capitaux ou exigeront des taux d'intérêt plus élevés dans les secteurs où les risques climatiques sont clairement accrus. De même, les assurances coûteront plus cher ou seront simplement inexistantes, ce qui entraînera des pertes majeures qui devront être assumées par les propriétaires ou les créanciers. Si les infrastructures subissent des dommages plus fréquents et plus importants, il en résulte qu'elles seront plus souvent en panne ou en mauvais état, ce qui nuira à leur fonction de soutien des gens, des collectivités et des entreprises. Par exemple, on estime que la congestion routière dans la région du Grand Toronto et de Hamilton seulement entraîne déjà des pertes de productivité pouvant se chiffrer dans les 11 milliards de dollars par année, une somme qui ne fera qu'augmenter avec la détérioration du réseau routier ou la multiplication des fermetures pour travaux. La disparition d'infrastructures de services essentielles affectera la productivité, la mobilité, le commerce, les communications, la sécurité alimentaire et l'accès à l'eau potable, entre autres, et aura des répercussions sur la croissance économique ainsi que sur la santé et le bien-être des habitants des quatre coins du Canada.

En somme, lorsqu'il est question de prévoir la véritable ampleur des dommages aux infrastructures et des perturbations dans un contexte de réchauffement climatique, on ne sait pas tout. L'ampleur et l'étendue des risques climatiques à l'endroit des infrastructures canadiennes se précisent au fur et à mesure que l'on met à jour les modèles climatiques. Les conséquences complexes d'une hausse des dommages aux infrastructures et des interruptions de services pour le système financier et l'économie en général commencent à être mises en lumière. Il est donc impossible d'évaluer pleinement l'ampleur des conséquences économiques des risques climatiques. Cependant, si nous n'agissons pas immédiatement pour réduire au minimum les pertes et dommages futurs selon l'information dont on dispose, on pourrait être complètement dépassé par l'accélération des changements climatiques et leurs répercussions sur nos infrastructures.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DOIVENT PESER PLUS LOURD DANS LES DÉCISIONS SUR LES INFRASTRUCTURES

Les décisions quant à l'emplacement et à l'organisation des infrastructures publiques et privées reposent sur un écheveau complexe de politiques gouvernementales et de moteurs du marché. Au sein des administrations, ce sont les services responsables des infrastructures qui décident en grande partie de ce qui est construit et où, mais d'autres services influencent aussi la planification, la conception, le financement et l'exploitation des infrastructures par différents moyens (codes et normes de construction, politiques macroprudentielles, surveillance du système financier, réglementation des services publics, aménagement du territoire, etc.). S'ajoutent aux décisions gouvernementales les pratiques des acteurs du système financier, dont les banques, les assureurs, les bourses, les sociétés de placement, les investisseurs institutionnels, les cabinets comptables, les agences de notation et les professionnels de l'immobilier, qui influencent grandement les modalités des investissements du secteur privé dans l'infrastructure.

Jusqu'à maintenant, les efforts combinés des administrations et des marchés n'ont pas suffi à préparer l'environnement bâti du Canada au réchauffement et aux fluctuations climatiques qui le guettent. Les données préparées par les administrations ne fournissent pas à la population et aux entreprises les renseignements dont elles ont besoin pour comprendre les risques climatiques et s'y préparer. Les codes et les normes de construction ne sont pas adaptés aux pressions accrues créées par le réchauffement mondial. En outre, les administrations ouvrent grand la porte aux décisions risquées et aux mauvais investissements en finançant des infrastructures vulnérables et en versant toujours plus d'aide financière en réponse aux problèmes d'infrastructures et aux pertes découlant des changements climatiques et des catastrophes. C'est sans compter que les marchés ne tiennent pas compte de la valeur réelle des risques climatiques parce que les propriétaires, les prêteurs et les investisseurs ne peuvent pas ou ne veulent pas divulguer les effets attendus des changements climatiques sur leurs infrastructures.

Les administrations et le secteur privé ont besoin d'un nouveau modèle pour tout ce qui touche la prise de décision, le financement et la couverture d'assurance des nouvelles constructions. Afin d'éviter les coûts et les perturbations socio-économiques découlant des changements climatiques, la planification des infrastructures doit se faire selon une approche prospective, stratégique et concertée entre les services et les ordres de gouvernement. Elle doit englober le financement, les codes et les normes, l'aménagement du territoire, la gestion des infrastructures et bien plus. Les politiques gouvernementales devraient aussi encourager la divulgation et l'évaluation transparentes des risques et cesser de soutenir financièrement les investissements publics et privés risqués. Et les prêteurs, investisseurs et entreprises du secteur privé doivent également contribuer en prenant de meilleures décisions d'avenir qui tiennent compte des risques climatiques.

En fait d'infrastructures, le Canada est à la croisée des chemins. Les administrations, les entreprises et les collectivités commencent à repenser les routes, les chemins de fer, les maisons et les bâtiments de demain et les meilleurs moyens de se préparer aux changements prévus. Car au bout du compte, il serait plus coûteux de poursuivre sur la même voie que de préparer notre environnement bâti à l'avenir.



RECOMMANDATIONS

Tous les ordres de gouvernement ont un grand rôle à jouer pour accroître la résilience des infrastructures canadiennes en prévision des changements climatiques. Les recommandations suivantes, si elles sont appliquées par les autorités fédérales, provinciales, territoriales, autochtones et municipales, permettront au Canada de commencer à construire dès aujourd'hui en fonction du climat de demain.

1 Les administrations devraient préparer et communiquer des données pratiques et précises sur les risques climatiques qui pèsent sur les infrastructures.

Pour comprendre et gérer les risques actuels et futurs découlant des changements climatiques et investir de manière réfléchie dans les mesures d'adaptation, les gouvernements, les entreprises, les investisseurs et la population ont besoin de renseignements à jour et concrets. Toutefois, les données actuelles sur les répercussions futures des changements climatiques et les risques existants sont incomplètes et se contredisent. Pour que tous les propriétaires et investisseurs comprennent les risques climatiques et en tiennent compte dans leurs décisions, les administrations doivent produire des données pratiques et cohérentes et les rendre accessibles à tous.

2 Les administrations et les autorités de réglementation devraient obliger les propriétaires d'infrastructures existantes ou proposées à divulguer les risques climatiques qui y sont liés.

En faisant preuve de transparence quant aux risques climatiques, on favorise les décisions axées sur la résilience et on décourage les investissements hasardeux. Mais si les propriétaires et les investisseurs ne sont pas informés de ces risques ou n'en sont pas tenus responsables, le danger ne fera que croître avec le réchauffement et les fluctuations climatiques. Les administrations et les autorités de réglementation devraient user de leurs pouvoirs pour obliger les propriétaires, les investisseurs et les autres acteurs du système financier à analyser, divulguer et gérer les risques climatiques.

3 Les administrations devraient évaluer en bonne et due forme les avantages de la résilience et les risques climatiques pour toutes les dépenses en infrastructures et les décisions de réglementation.

Étant donnée la longévité de la plupart des infrastructures, les administrations et les autres intervenants doivent sans tarder axer leurs décisions sur l'adaptation et la résilience afin d'éviter de prolonger la vulnérabilité climatique pour des décennies, voire des siècles. Pour ce faire, tous les ordres de gouvernement devraient adopter une approche concertée à long terme pour l'établissement de normes, le financement et la planification des infrastructures publiques, la réglementation de l'exploitation des infrastructures, l'encadrement du développement urbain, l'évaluation des grands projets d'aménagement industriel et d'exploitation des ressources, et l'entretien et l'exploitation des infrastructures.

4 Les administrations devraient créer des filets de sécurité pour les plus vulnérables afin de répartir les coûts des risques climatiques.

En mettant l'accent sur la transparence et la divulgation des risques climatiques, on créera des signaux de prix qui, à long terme, entraîneront une diminution de ces risques. Toutefois, une hausse des prix incontrôlée en raison des risques climatiques pourrait se traduire par des coûts prohibitifs pour les collectivités et les populations déjà vulnérables économiquement aux dommages découlant des changements climatiques, par exemple en faisant augmenter les taux hypothécaires ou les primes d'assurance. Pour éviter d'alourdir le fardeau de ceux qui ont déjà peu de moyens, les administrations devraient veiller à ce que les personnes, les entreprises et les collectivités défavorisées sur le plan économique soient une cible prioritaire pour les investissements dans l'adaptation et les programmes garantissant l'accès aux assurances et au crédit.



Rapport sur les infrastructures du Nord

Les lacunes dans les infrastructures sont peut-être encore plus évidentes lorsqu'on compare le nord et le sud du Canada. Logements inadéquats, réseau électrique peu fiable et réseaux routiers et aéroports défectueux posent entre autres choses de sérieux défis pour la santé, le bien-être et la prospérité des collectivités du Nord, particulièrement chez les peuples autochtones. Le climat se réchauffe aussi plus rapidement dans le Nord canadien que presque partout ailleurs sur la planète. À cause du rythme de ces changements et de la géographie unique de la région, la nature et les conséquences des répercussions climatiques sur les infrastructures sont différentes dans le Nord.

L'Institut canadien pour des choix climatiques analyse les défis uniques que devra relever le Nord canadien en matière de répercussions climatiques et d'adaptation des infrastructures. Pensons notamment aux conséquences et aux coûts de la fonte du pergélisol pour les aéroports, les routes et les demeures de la région, ainsi qu'aux répercussions de la fonte précoce des routes de glace. De concert avec Firelight, une firme autochtone de consultation et de recherche qui travaille avec les collectivités autochtones et locales aux quatre coins du pays, nous explorons ce que ces répercussions sur les infrastructures représentent pour les Inuits et les Premières Nations. Notre analyse sera publiée en 2022.



1 INTRODUCTION

Les changements climatiques fragilisent et endommagent nos infrastructures comme jamais auparavant – les bâtiments, les routes, les systèmes énergétiques et les autres actifs physiques essentiels qui régulent tous les aspects de la vie au Canada. Lorsque ces infrastructures sont menacées, elles ne peuvent assurer de manière aussi fiable les fonctions et services nécessaires au bien-être social, culturel et économique au pays. Lorsque des risques pèsent sur les infrastructures, ce sont les entreprises, le commerce, la vie en communauté et la santé et la sécurité de la population qui en pâtissent.

Les gouvernements canadiens peuvent faire des choix maintenant pour protéger nos infrastructures. Certains changements de politiques stimuleraient l'investissement dans des infrastructures résilientes pouvant résister aux répercussions des changements climatiques – générant pour les secteurs public et privé des économies à long terme dans les projets d'infrastructures et protégeant les services dont la population et l'économie dépendent. C'est particulièrement vrai en ce moment, alors que les gouvernements songent à investir massivement dans de nouvelles infrastructures destinées à faci-

liter la transition carboneutre. Si nous ne tenons pas compte des coûts des répercussions des changements climatiques et nous ne saisissons pas les occasions de renforcer notre résilience par ces investissements, la transition ne sera que plus coûteuse.

Le bilan s'alourdit – celui des dommages aux résidences, aux entreprises et aux infrastructures publiques causés par les tempêtes, les inondations et les feux incontrôlés, mais aussi celui du coût des réparations. Au cours des dernières décennies, le coût annuel des catastrophes météorologiques au Canada a bondi d'un facteur 10, tout comme le coût moyen des catastrophes (Sawyer et coll., 2020). De récentes catastrophes météorologiques ont entraîné des pertes humaines et financières sans précédent : la tempête de grêle de 2020 en Alberta a causé près de 1,2 milliard de dollars en dommages (BAC, 2020), les inondations à Toronto et à Calgary en 2013 ont causé ensemble plus de 7 milliards de dollars de dommages, et les feux incontrôlés à Fort McMurray en 2016 ont eu des répercussions économiques avoisinant les 11 milliards de dollars (Alam et coll., 2017).

Mais les catastrophes météorologiques ne sont qu'un morceau du casse-tête. En effet, des changements climatiques moins intenses et plus lents sont une menace aussi grande pour les infrastructures : l'élévation du niveau de la mer accélère l'érosion des berges et la fréquence des inondations dans les communautés côtières, les températures estivales plus élevées déforment les routes et les voies ferrées, la fonte du pergélisol endommage les bâtiments et les routes dans le Nord, et les tempêtes de verglas mettent hors service des réseaux électriques et des systèmes de télécommunication. Bien que nous subissions déjà ces conséquences des changements climatiques au Canada, nous en savons encore peu sur leur effet total sur les infrastructures. De manière générale, les gouvernements et autres propriétaires et exploitants d'infrastructures ne mesurent pas l'influence du climat et des conditions météorologiques sur la fréquence des pannes de courant, des fermetures de routes, des réparations de voies ferrées ou des inondations de résidences et de communautés – pas plus que leurs coûts sociaux et économiques. Ce qui ne fait aucun doute dans un contexte de changements climatiques, c'est que sans adaptation, ces répercussions sur les infrastructures du pays ne feront qu'empirer.

L'accumulation des dommages aux infrastructures entraînée par les changements climatiques ferait considérablement augmenter le coût du simple maintien

des services desquels la population dépend. Selon les estimations du gouvernement fédéral, le coût des dommages aux infrastructures causés par le climat pourrait s'élever à plus de 300 milliards de dollars pour la seule décennie à venir. (Bush et Lemmen, 2019). Ces coûts climatiques grugeraient les fonds nécessaires pour combler le déficit d'infrastructures actuel (pénurie de logements, accès précaire à l'eau, lacunes en matière de transport, etc.). Les répercussions des changements climatiques pourraient également freiner la transition carboneutre du Canada et retarder les investissements dans de nouvelles infrastructures qui deviendront essentielles dans un monde sobre en carbone : réseaux électriques modernisés, transport en commun, rénovation énergétique. Si rien n'est fait pour adapter les nouvelles infrastructures et les infrastructures existantes aux effets d'un climat changeant, celles-ci ne seront pas assez fiables pour soutenir une économie carboneutre canadienne.

Heureusement, une bonne partie des coûts potentiels des dommages aux infrastructures causés par les changements climatiques et de la perte de service qui en découle est évitable. Mais il en tient aux gouvernements, aux entreprises et aux communautés qui investissent aujourd'hui dans l'adaptation aux risques des changements climatiques pour les infrastructures de réduire les coûts de demain. Comment? En veillant, notamment, à concevoir des infrastructures résistantes aux change-



ments climatiques, à rendre les infrastructures existantes plus résilientes et à gérer et entretenir l'ensemble du parc de manière à préserver le niveau de service malgré les perturbations du climat. En modifiant ses politiques, l'État peut générer la motivation et la sensibilisation nécessaire pour stimuler ces investissements.

Lorsqu'il est question de construction d'infrastructures résilientes et d'adaptation d'infrastructures existantes, le Canada a beaucoup de chemin à faire. Bien que les risques des changements climatiques pour les infrastructures soient connus depuis des décennies, les gouvernements, les entreprises et les individus en tiennent rarement compte dans leurs décisions. Par exemple, les autorités provinciales, territoriales, autochtones et municipales n'ont pas fait de mise à jour régulière de leurs politiques d'aménagement du territoire pour intégrer l'accroissement du risque d'inondation en contexte de changements climatiques. Dans les grands projets de développement industriel et d'exploitation des ressources, les processus gouvernementaux d'évaluation environnementale et d'approbation réglementaire comportent des exigences limitées et variables pour les soumissionnaires en ce qui concerne la planification en fonction d'un climat plus chaud et instable. Les codes du bâtiment et les normes de conception des infrastructures à l'échelle régionale et nationale ne font que commencer tranquillement à tenir compte des changements à venir. Les banques continuent de consentir des prêts à des particuliers et à des entreprises pour financer des résidences, des bâtiments et des biens matériels exposés aux catastrophes liées aux changements climatiques (actuelles et à venir), souvent sans les assurances nécessaires. Les assureurs, quant à eux, n'ont pas encore intégré le coût total des risques futurs des changements climatiques aux propriétés et aux actifs assurés, ce qui n'encourage pas les titulaires de police à gérer et à éviter les risques.

Si le Canada poursuit dans la même voie, non seulement les coûts payés par les gouvernements, les entreprises, les communautés et la population continueront d'augmenter, mais la baisse de services fournis par les infrastructures aura des conséquences sociales et économiques d'une grande ampleur. Des dommages plus fréquents

aux routes, aux voies ferrées, aux réseaux électriques et aux télécommunications perturberont les entreprises et les chaînes d'approvisionnement. Des établissements de santé pourraient être inaccessibles ou non fonctionnels lors de catastrophes climatiques (inondations, feux incontrôlés). Des bris de barrages ou de ponts se paieront en vies perdues. Et les communautés rurales et éloignées seront coupées de leurs sources de nourriture, de soins de santé et d'articles de première nécessité.

D'autres effets seront plus subtils, mais tout aussi importants. L'accumulation des dommages causés par les catastrophes météorologiques conjuguée à la conscientisation aux risques climatiques aura une incidence sur la valeur de plusieurs infrastructures publiques et privées, un phénomène potentiellement dévastateur pour les propriétaires et les investisseurs. Les assurances privées contre les catastrophes météorologiques pourraient devenir inaccessibles ou avoir un coût dissuasif, augmentant ainsi la part des coûts de ces catastrophes que les particuliers, les entreprises, les fournisseurs de services publics et les gouvernements devront assumer (Dolynny, 2019). Les banques et les prêteurs hypothécaires pourraient refuser d'accorder ou de renouveler des prêts pour des bâtiments, des propriétés et des biens matériels qui risquent d'être fortement endommagés ou détruits.

Notre rapport fait état des risques physiques et économiques des changements climatiques pour les infrastructures au Canada. Il montre les conséquences de l'absence de préparation et les possibilités présentées par l'investissement dans l'adaptation pour éviter les coûts et la perte de services essentiels. Nous analysons les coûts de trois grandes répercussions des changements climatiques sur quelques-unes des plus importantes infrastructures du Canada :

LES RÉSIDENCES ET LES BÂTIMENTS, qui subiront des submersions côtières et des inondations intérieures plus fréquentes;

LES ROUTES ET LES VOIES FERRÉES, qui seront de plus en plus endommagées par l'augmentation de la température et des précipitations;

LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES, que le climat soumettra à une demande et à une pression accrues.

Notre analyse examine les répercussions et les coûts à prévoir pour le reste du siècle à mesure que s'intensifient les changements climatiques, avec et sans planification proactive. Dans les scénarios où les propriétaires et gestionnaires d'infrastructures au Canada investissent de manière proactive dans l'adaptation, les retombées économiques de la protection des infrastructures ou de l'augmentation de leur résilience sont modélisées en prévision d'un climat plus extrême et imprévisible. Dans les scénarios sans investissements dans l'adaptation, nous avons présumé que les infrastructures continueraient d'être entretenues, modernisées et remplacées sans tenir compte des changements climatiques à venir. La comparaison des coûts nets avec et sans mesures d'adaptation montre que ces dernières pourraient considérablement réduire le coût d'entretien des infrastructures en contexte de changements climatiques.

Nous analysons également deux scénarios de changements climatiques : l'un où les émissions de gaz à effet de serre se maintiennent jusqu'à la fin du siècle, entraînant une augmentation mondiale des températures de près de 5 °C d'ici 2100, et l'autre où les émissions mondiales sont réduites conformément aux engagements mondiaux de 2020, qui limiteraient le réchauffement climatique à environ 2,5 °C d'ici 2100 (section 3.2). Le premier scénario illustre les conséquences pour le Canada d'une action climatique insuffisante à l'international, notamment les coûts supplémentaires et les limites de l'adaptation à un climat nettement plus chaud et extrême. Le second scénario, quant à lui, illustre les avantages d'une trajectoire de réduction des émissions plus engagée et plus rapide, notamment la diminution des répercussions et les meilleures possibilités de mitigation des coûts offertes par l'adaptation.

Notre analyse montre l'ampleur des conséquences économiques que pourraient avoir les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures. Si ce rapport ne décrit qu'un sous-ensemble de ces coûts, les résultats sont sans équivoque : les répercussions climatiques représentent un risque majeur que les gouvernements, les banques, les assureurs et les autorités de réglementation financière n'ont pas encore pris en compte. Sans mesures d'adaptation

proactives et pertinentes pour accroître la résilience, les coûts de réparation, de remplacement et d'entretien des infrastructures dans un climat qui se réchauffe deviendront excessifs. Les fonds nécessaires pour tout simplement maintenir les niveaux de service actuels grugeront des ressources financières qui, autrement, auraient pu servir à combler le déficit d'infrastructures national et à investir dans de nouvelles infrastructures appuyant la transition carboneutre du Canada. Il est donc crucial d'investir immédiatement dans la gestion des risques des changements climatiques pesant sur les infrastructures pour préparer un avenir prospère, résilient et sobre en carbone.

Nous soulignons également les principales mesures que les gouvernements peuvent prendre pour orienter les décisions en matière d'infrastructures de sorte qu'elles améliorent la résilience et atténuent les répercussions et les coûts des changements climatiques. Nous nous penchons sur la façon dont les gouvernements peuvent rendre accessibles les renseignements essentiels sur les risques climatiques à toutes les organisations et les personnes responsables de la planification et des décisions d'investissements en matière d'infrastructure, plutôt que seulement à celles ayant les moyens de se les procurer. Nous traitons de la manière dont les gouvernements peuvent canaliser les capitaux privés vers la résilience des infrastructures en obligeant la divulgation des risques climatiques. Nous examinons comment les gouvernements peuvent améliorer la résilience des infrastructures publiques en tenant compte explicitement des risques climatiques et des avantages de la résilience. Enfin, nous examinons les instruments que les gouvernements peuvent mettre en œuvre pour protéger les individus, les entreprises et les communautés vulnérables sur le plan économique et ainsi éviter d'aggraver les inégalités.

Il est à noter que ce rapport ne dresse pas un bilan de l'ensemble des lacunes importantes dans la recherche et les politiques en matière de risques climatiques pour les infrastructures. Ce rapport ne constitue pas un examen des politiques et des mesures d'adaptation existantes liées aux infrastructures au Canada, ni des efforts entrepris par les communautés, les entre-

prises et les individus en la matière. Il ne constitue pas non plus une analyse en profondeur des répercussions démesurées des changements climatiques sur certaines populations et communautés – personnes à faible revenu, communautés nordiques et éloignées, et peuples autochtones, notamment – qui n’ont actuellement pas accès à d’importants services d’infrastructures ou qui sont déjà davantage touchées par les changements climatiques. Nos travaux à venir contribueront à pallier certaines de ces lacunes, notamment par un prochain rapport sur les répercussions climatiques sur les infrastructures dans le Nord.

Ce rapport a pour rôle de compléter et d’appuyer les travaux menés dans ces autres sphères en les situant dans un contexte plus large : les changements climatiques menacent les services d’infrastructures dont la prospérité et le bien-être des populations au Canada dépendent, et les gouvernements doivent passer à l’action pour créer les conditions propices à une prise de décision optimale et réfléchie en matière d’infrastructures et de risques climatiques.

La suite du rapport est structurée comme suit.

- ▶ **LA SECTION 2** met en contexte les défis des infrastructures du Canada, notamment leur importance pour la prospérité et le bien-être des populations ainsi que les lacunes existantes en infrastructure sur le territoire que les changements climatiques ne feront qu’exacerber.
- ▶ **LA SECTION 3** décrit notre méthode pour estimer les répercussions sur les infrastructures et les coûts des changements climatiques ainsi que les avantages de l’adaptation.
- ▶ **LA SECTION 4** est consacrée à l’application de cette méthode pour estimer les répercussions des inondations liées au climat sur les résidences et les bâtiments.
- ▶ **LA SECTION 5** traite des répercussions d’un climat changeant sur les routes et les voies ferrées.
- ▶ **LA SECTION 6** traite des répercussions climatiques sur les réseaux électriques.
- ▶ **LA SECTION 7** présente nos conclusions et nos recommandations générales.



2 INFRASTRUCTURES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU CANADA

Des infrastructures en bon état sont essentielles à l'économie et au bien-être d'un océan à l'autre. Les changements climatiques feront grimper les coûts d'entretien des infrastructures et compliqueront le maintien du niveau de service attendu par la population. Il faut des investissements immédiats et continus pour adapter les infrastructures du pays à un climat qui se réchauffe à un rythme deux fois plus élevé que celui du reste de la planète (Bush et Lemmen, 2019), sans quoi les communautés peuvent s'attendre à une flambée des coûts et à des perturbations importantes des services.

Au défi de la préparation à un climat plus chaud et plus instable s'ajoute l'important déficit d'infrastructures du Canada et les difficultés que le pays éprouve déjà à financer, à construire et à exploiter les infrastructures nécessaires aux services dont la population et l'économie ont besoin. Si nous ne parvenons pas à rétablir la situation, nous aurons du mal à pallier les autres risques qu'un climat de plus en plus chaud et instable fait peser sur les infrastructures.

Pour définir le contexte de notre analyse des menaces et des défis à venir, cette section décrit l'état des infrastructures au Canada et leur degré de préparation aux changements climatiques.

À la base du bien-être et de la prospérité

Partout au pays, la population dépend de services fiables fournis par les infrastructures. Des routes et transports, des réseaux électriques, des réseaux d'alimentation en eau, des télécommunications et des soins de santé efficaces et fiables font baisser les prix de revient en réduisant les délais et les coûts de production et en augmentant la productivité du travail et la fiabilité des opérations. Ainsi, ils accroissent le rendement et la compétitivité du secteur privé tout en stimulant la productivité de l'économie, ce qui améliore ensuite le rendement sur les investissements, le niveau de vie et la croissance économique à long terme. En 2009, Statistique Canada estimait que la moitié de la croissance de la productivité des 45 années précédentes était attribuable aux investissements en infrastructures publiques (Gu et Macdonald, 2009).

Des infrastructures et services fiables sont également essentiels pour la santé et le bien-être de la population du Canada. Pour être bien et en santé, les gens ont besoin de logements sécuritaires et abordables,

de réseaux d'eau potable propre à la consommation, et d'électricité et de gaz pour le chauffage et la cuisine. Les usines de traitement des eaux usées, les centres de tri et les décharges protègent la population des répercussions environnementales de la pollution et des déchets. Des cliniques et hôpitaux ouverts et accessibles sont essentiels à la qualité des soins de santé. Les routes, voies ferrées et aéroports réunissent les familles, et les centres communautaires et installations sportives maintiennent et améliorent le bien-être physique et mental de la population.

Les infrastructures et leurs services sont particulièrement importants pour les communautés nordiques et éloignées, pour qui la sécurité du logement et la livraison d'aliments et de médicaments à grande distance sont parfois une question de vie ou de mort. Par exemple, plus de 100 communautés du Canada ne sont pas accessibles à l'année par le réseau routier; leur approvisionnement et leur accès au reste du pays reposent sur de petits ports, des routes d'hiver et des aéroports (RNCan, 2018).

Les infrastructures du Canada, déjà en mauvais état

Malgré leur importance pour chacun des aspects de la vie au Canada, les infrastructures – surtout publiques – se dégradent partout au pays, et le niveau des services qu'elles rendent aux entreprises, aux communautés et à la population suit la même tendance. Au cours des 50 dernières années, les investissements dans les routes, les ponts, les aéroports, les réseaux électriques et les réseaux d'alimentation en eau n'ont pas suffi à compenser l'usure et à répondre à la demande d'une population et d'une économie en croissance.

Bien que le gouvernement du Canada ait augmenté substantiellement les investissements en infrastructure depuis la fin des années 2000, selon de récentes esti-

mations, le financement nécessaire pour entretenir les infrastructures et combler les lacunes afin d'optimiser l'efficacité de l'économie nationale serait entre 110 et 270 milliards de dollars (Berz et coll., 2020).

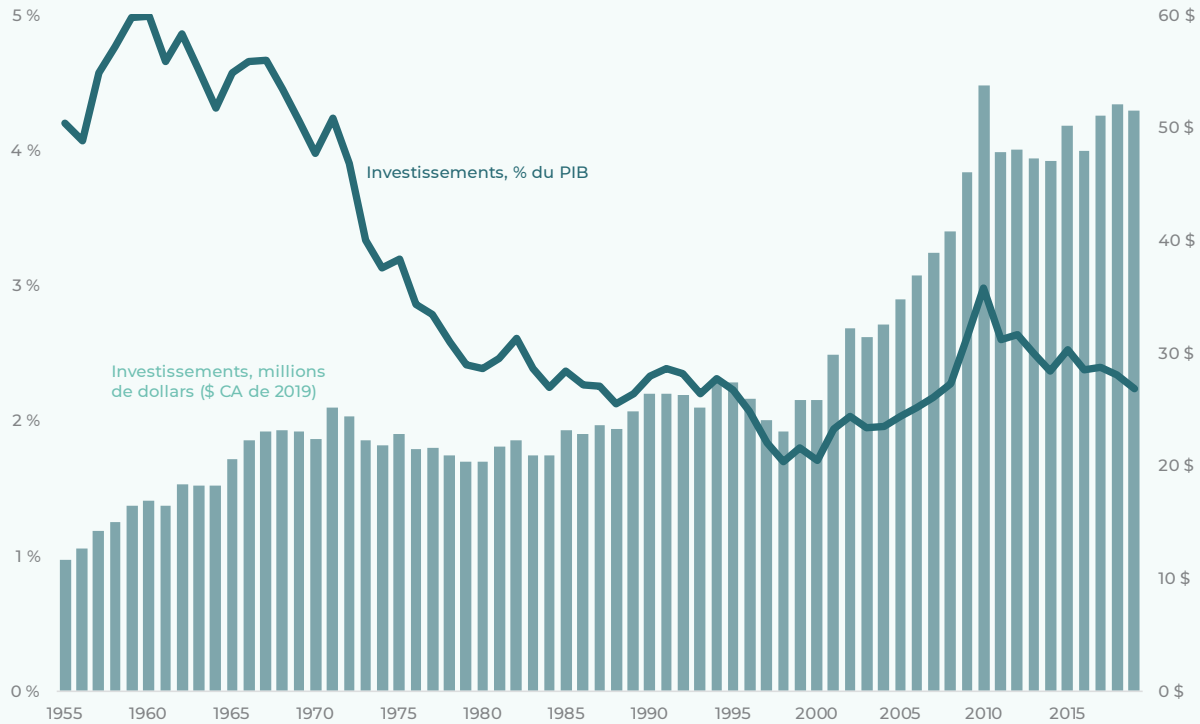
Si ce déficit nuit à la productivité, à la prospérité et au bien-être partout au pays, il n'affecte pas tout le monde de la même façon. Les lacunes nationales en infrastructures ne sont pas qu'une question de parc d'infrastructures inadéquat, mais aussi d'investissements peu judicieux et d'inégalité dans l'accès aux services. Il y a d'importantes disparités au Canada concernant l'accès à des routes de qualité, à de l'électricité fiable, à de l'eau potable et à un logement sécuritaire et abordable : pensons aux 32 communautés autochtones sous le coup d'avis concernant la qualité de l'eau potable à long terme et aux 185 communautés exclues du réseau électrique qui dépendent de génératrices au diesel (Services aux Autochtones Canada, 2021; RNCan, 2018). Un tiers des ménages au pays vivrait dans un logement inabordable, dont la qualité est inadéquate ou dont la taille n'est pas convenable (Claveau, 2020). De plus, les résidences des communautés autochtones risquent trois fois plus d'avoir à être réparées que celles des autres communautés au pays (Thistlethwaite et coll., 2020).

L'histoire du déficit d'infrastructures au Canada est complexe et remonte à plusieurs dizaines d'années. Les investissements du gouvernement en infrastructures ont atteint leur apogée à la fin des années 1950, pour ensuite diminuer graduellement jusqu'au milieu des années 2000 (figure 2.1). À la fin des années 1990, ils ont diminué au point où la valeur totale des infrastructures publiques était en fait en baisse, si l'on tient compte de la dépréciation (Mackenzie, 2013), pour ensuite connaître un léger regain associé aux programmes de relance économique à la suite de la crise financière de la fin des années 2000, regain qui ne s'est cependant pas poursuivi.

Figure 2.1

Les dépenses en infrastructures au Canada ne suivent pas le cours de l'économie

Investissements en infrastructures en pourcentage du PIB et en milliards de dollars



Source: Données combinées à partir de Statistics Canada, 2020d; 2021a.

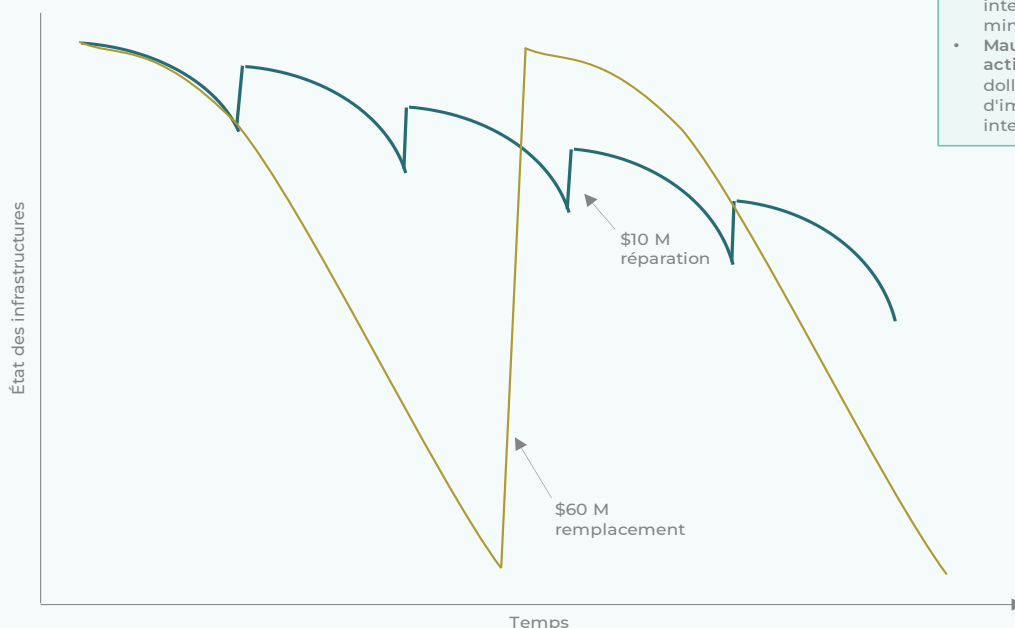
Du milieu du 20^e siècle à aujourd'hui, les infrastructures publiques ont connu un transfert de compétence graduel. Au début des années 1960, le gouvernement fédéral en possédait environ 25 %, les gouvernements provinciaux, 45 %, et les municipalités, environ 30 % seulement (Harchaoui et coll., 2003). Or présentement, les municipalités possèdent et gèrent près de 60 % des infrastructures – routes, ponts, réseaux d'eau potable et de traitement des eaux usées, installations de loisirs et bâtiments publics – tandis que le gouvernement fédéral n'en possède plus que 2 % (Infrastructure Canada, 2018). Comme les municipalités n'ont que peu de moyens pour générer des revenus et perçoivent moins de 10 % des taxes payées au Canada, elles ont été incapables d'investir suffisamment dans la construction et le maintien

d'actifs, ce qui a entraîné une dégradation généralisée des infrastructures à l'échelle nationale (Johal, 2019). Les petites municipalités et les gouvernements autochtones aux budgets restreints ont été particulièrement touchés. Même si les annonces récentes du gouvernement fédéral concernant de nouveaux investissements en infrastructures sont encourageantes, la bataille est loin d'être gagnée. Des décennies de sous-financement ont laissé les infrastructures du Canada en piètre état et la réhabilitation ou la reconstruction s'annonce coûteuse. Des investissements majeurs continueront d'être nécessaires pour améliorer la condition des infrastructures jusqu'à ce que leur maintien ne nécessite que des dépenses raisonnables et régulières en entretien et en préservation (figure 2.2).

Figure 2.2

C'est payant de maintenir les infrastructures en bon état

Coûts d'entretien des infrastructures en temps opportun vs la détérioration et le remplacement



- Gestion proactive des actifs : 40 millions de dollars de réparations et interruption de service minimale
- Mauvaise gestion des actifs : 60 millions de dollars de remplacement et d'importantes interruptions de service

Lutter contre les changements climatiques pour combler les lacunes en matière d'infrastructures

Les changements climatiques posent un défi majeur pour combler les lacunes en matière d'infrastructures du Canada, et ce, pour trois raisons principales.

D'abord, les changements climatiques accéléreraient la dégradation des infrastructures, phénomène qui réduirait substantiellement leur durée de vie. Soumis à une hausse de température, les réseaux électriques seront sous pression et les routes et autoroutes se fissureront et se déformeront (EPA, 2015). Les inondations grugeront les ponceaux et la semelle des ponts, et la fonte du pergélisol endommagera les fondations des bâtiments et les pistes d'atterrissage dans le Nord. Ces dommages entraîneront la dégradation d'autres

infrastructures, diminuant encore davantage l'offre de services et provoquant une flambée des coûts de réparation et de remplacement.

Les changements climatiques accroîtront également la nécessité de nouveaux investissements destinés à protéger les infrastructures de conditions plus difficiles (BAC et FCM, 2020) : construction de digues, restauration de milieux humides pour protéger les zones urbaines des inondations et la climatisation plus efficace des transports en commun en sont quelques exemples. Ces besoins feront grimper les dépenses à un niveau encore plus élevé que celui qui est requis pour combler le déficit d'infrastructures national.

Enfin, pour atteindre son objectif de carboneutralité, le Canada devra investir dans de nouvelles infrastructures sobres en carbone comme des réseaux électriques modernisés, des réseaux de recharge pour véhicules électriques, les transports en commun carboneutres

ainsi que la rénovation de bâtiments. Celles-ci qui créeront encore plus de demande et de compétition pour le financement des infrastructures. Et si ces dernières ne sont pas construites de sorte à être résilientes au climat ou si leur entretien ne tient pas compte des rigueurs d'un climat changeant, elles risquent de rejoindre le bassin d'infrastructures en mauvais état – contrecarrant nos efforts visant à combler le déficit en infrastructure et augmentant le coût de l'atteinte de la carboneutralité au Canada.

Les investissements à venir en infrastructures destinées à la transition carboneutre et à la protection contre les changements climatiques nous donnent toutefois l'occasion de combler ces lacunes. D'une ampleur sans précédent, ces investissements, coordonnés et intégrés judicieusement, nous permettraient d'utiliser à bon escient les ressources engagées à la fois pour réduire les émissions et renforcer la résilience le plus rapidement possible et à moindre coût (ACT, 2021). Ils permettraient également de remettre les infrastructures du pays dans un état général assez bon pour que leur financement

et leur entretien soient viables – malgré les pressions accrues infligées par les changements climatiques. Une planification ciblée peut même faire en sorte que les nouvelles infrastructures fournissent des services aux populations et aux communautés jusqu'ici oubliées.

L'immobilier, le talon d'Achille de la richesse nationale

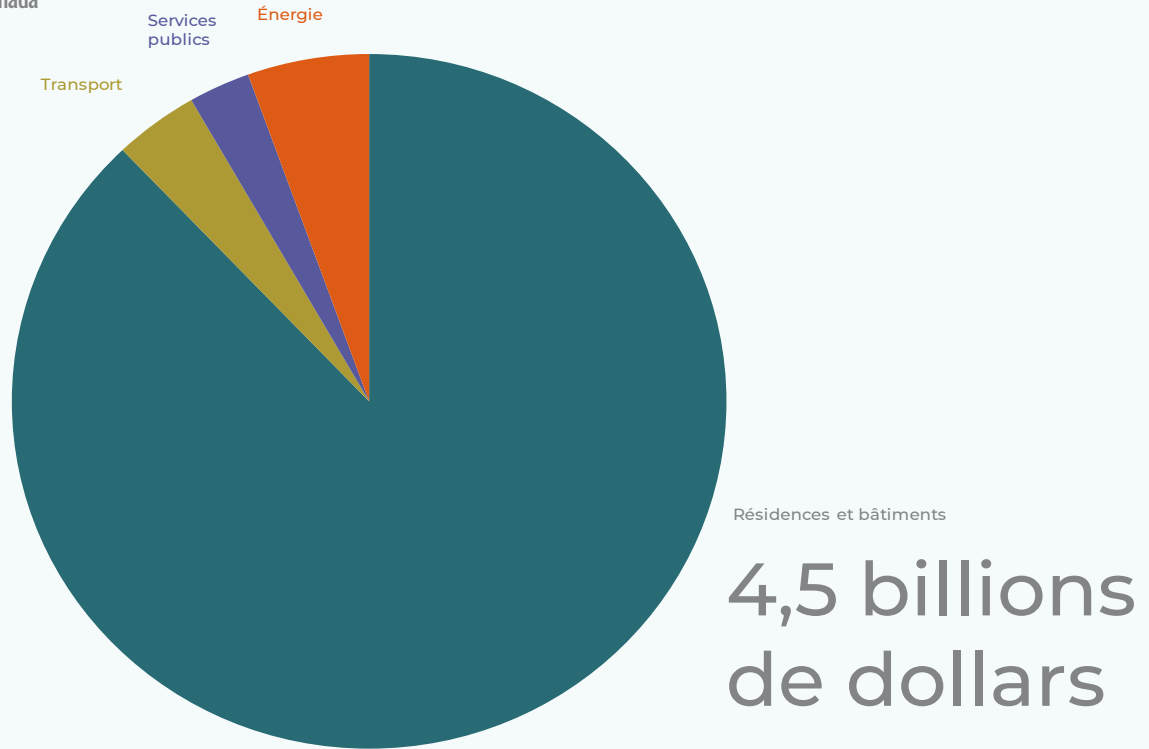
Au Canada, c'est le secteur privé qui détient la plupart des intérêts dans les infrastructures. En 2019, les infrastructures privées du pays valaient 6,1 billions de dollars, soit environ 13 % de la richesse nationale (figure 2.3) (Statistique Canada, 2021a, 2021b). Les résidences et les bâtiments détenus par des intérêts privés représentent presque 85 % de la valeur totale des actifs d'infrastructures (Statistique Canada, 2021b). En 2016, 63 % des habitants étaient propriétaires de leur résidence. Et pour la plupart, il s'agissait de leur principal actif – représentant 41 % de la richesse d'un ménage moyen (Statistique Canada, 2020b).



Figure 2.3

Résidences et bâtiments : les infrastructures les plus précieuses du Canada

Parc d'actifs du Canada



Les infrastructures publiques, les résidences et les bâtiments jouent un rôle essentiel pour la santé, la sécurité, le bien-être et la productivité économique de la population. Et comme les infrastructures publiques, les biens immobiliers privés sont très exposés aux dommages causés par les changements climatiques. Le coût des dommages aux biens immobiliers découlant de catastrophes météorologiques comme les inondations, les tempêtes de verglas et les feux incontrôlés ont connu une croissance sans précédent dans les dernières décennies (Sawyer et coll., 2020). Si les assurances privées et l'aide en cas de gouvernementale en cas de catastrophe ont épongé la plupart de ces coûts, de plus en plus de signes laissent croire que le filet de sécurité atteindra bientôt sa limite. Les primes d'assurance ont bondi et risquent de devenir inabordables ou inaccessibles pour les nombreux propriétaires de résidences et d'entreprises à risque d'inondation (Shaw et

Baumann, 2020). Le gouvernement fédéral a diminué son soutien financier en cas de catastrophe en augmentant considérablement le seuil de dommages financiers que les provinces et territoires doivent atteindre pour accéder à du financement (Davies, 2020). De plus, le budget fédéral 2021 prévoyait moins de la moitié des sommes requises pour l'aide en cas de catastrophe selon le directeur parlementaire du budget (DPB, 2016).

Les implications économiques des dommages aux bâtiments de plus en plus importants liés au climat vont bien au-delà des coûts de réparation ou de remplacement, qu'ils soient assumés par les assureurs, les gouvernements ou les propriétaires. Jusqu'ici, la valeur des propriétés des zones touchées par les catastrophes météorologiques diminuait à court terme pour toutefois généralement rebondir quelques années après (Bin et Landry, 2013; Kousky et coll., 2020; Pfeffer, 2017). Or, aux États-Unis, de plus en plus de données indiquent

que la valeur des propriétés dans les zones à très haut risque demeure perpétuellement dépréciée en raison de l'augmentation de la fréquence des catastrophes et de la sensibilisation aux risques des changements climatiques (Beck et Lin, 2020; McAlpine et Porter, 2018). Par ailleurs, les changements climatiques pourraient faire perdre toute sa valeur au parc immobilier dans certains secteurs où le niveau de la mer augmentera de façon permanente, submergeant des résidences côtières, ou là où l'intensité des feux incontrôlés découragera les efforts de reconstruction des communautés (Atkin, 2017).

En plus d'une perte de valeur des actifs immobiliers, les risques et répercussions des changements climatiques pourraient restreindre l'usage des propriétés, causer des pertes de revenus locatifs et faire augmenter les primes d'assurances et d'hypothèque (Chopik, 2019). Pris à la gorge par des indemnités trop chères qui s'accumulent, certains assureurs ajustent déjà leurs primes à l'augmentation des risques (RATESDOTCA, 2021). Une baisse de la valeur des propriétés causée par une fréquence accrue des dommages liés aux phénomènes météorologiques ou à la perception des risques des changements climatiques pourrait également compliquer le renouvellement ou le refinancement de l'hypothèque des propriétaires. Et même si 45 % des propriétaires canadiens croient être assurés en cas de réparations ou de reconstructions faisant suite à une inondation, seuls environ 10 % à 15 % des ménages sont effectivement couverts (Joseph et Alini, 2017; Posadzki, 2017). De nombreuses résidences parmi les plus à risque sont impossibles à assurer, ce qui rend leur propriétaire vulnérable financièrement en cas de catastrophe. Les prêteurs hypothécaires et les banques, tout comme les investisseurs et les garants de titres adossés à des créances hypothécaires, ne seront pas épargnés. Aux États-Unis, les répercussions des risques climatiques sur le parc immobilier sont équivalentes à celle des prêts hypothécaires à risque ayant précipité la crise financière de 2008, mais présentent un potentiel de pertes financières et de perturbations sociales encore plus grand (Beckett et Lacy, 2016). Aux pertes financières directes et aux répercussions sur la stabilité

du système financier résultant de l'augmentation des dommages aux résidences et aux bâtiments s'ajoutent les perturbations des familles et des entreprises, l'interruption du commerce et des chaînes d'approvisionnement, la diminution des investissements dans les économies locales et la baisse de productivité économique à l'échelle régionale, voire nationale (Boustan et coll., 2017).

Les dommages au parc immobilier du Canada affecteront également les non-propriétaires. À l'échelle nationale, 37 % des gens habitent dans des unités locatives ou des résidences de bande (Uppal, 2019). Lorsque leur logement est endommagé par des inondations ou d'autres catastrophes météorologiques, ils ont souvent peu de pouvoir sur le choix ou le moment des réparations, ce qui les contraint de vivre dans des conditions inadéquates et parfois dangereuses (Wessler, 2021). Selon des données des États-Unis, les propriétaires aisés tendent à déménager des quartiers touchés par des répercussions climatiques (inondations, feux incontrôlés, fonte du pergélisol), et leurs résidences sont souvent converties en unités locatives (Ajibade et McBean, 2014). Ce phénomène peut aggraver des inégalités raciales et économiques, car les locataires – ayant souvent moins de revenu, disposent de moins de ressources financières et appartiennent plus fréquemment aux communautés racisées – subiront de manière démesurée les contre-coups des répercussions climatiques sur leur logement.

Le Canada ne tient pas compte des risques climatiques pour les infrastructures

Malgré les preuves que les risques climatiques s'accroissent et continueront de le faire, les décisions concernant les nouvelles infrastructures ne tiennent pas compte des risques climatiques physiques. Gouvernements et promoteurs continuent de construire des routes, des bâtiments et des infrastructures essentielles dans des zones à haut risque avec des matériaux qui ne conviennent pas à un climat plus chaud et plus instable. Les banques, les investisseurs et les caisses de retraite

continuent de gérer des portefeuilles sans accorder aux risques à venir l'importance qui leur revient, ce qui augmente l'exposition aux dangers et aux menaces climatiques. Par exemple, malgré les restrictions de développement visant certaines zones inondables. Des analyses que nous avons menées précédemment révèlent que dans les trois dernières années, 10 % des permis de construction à Vancouver ont été accordés à des projets situés sur des terres qui, changements climatiques ou non, sont susceptibles d'être inondées une fois par siècle (Clark et Coffman, 2020).

Les gouvernements et les autorités de réglementation ont fait quelques efforts pour protéger et renforcer nos infrastructures et veiller à ce que les nouvelles infrastructures soient conçues pour résister à un climat changeant. Ces mesures comprennent le financement d'infrastructures résilientes, l'obligation d'intégrer les risques climatiques à certains nouveaux projets d'infrastructures, et des mesures incitatives visant à ce que le secteur financier commence à tenir compte des risques financiers liés au climat et à les divulguer. Cependant, jusqu'à présent, ces mesures donnent peu de résultats.

Le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes du gouvernement fédéral est la plus grande source de financement en la matière au pays. Chaque année, il fournit aux provinces, aux territoires, aux gouvernements autochtones et aux municipalités environ 500 millions de dollars destinés à la consolidation et à la rénovation ou à la construction d'infrastructures qui protègent la population, les infrastructures importantes et les services essentiels (Infrastructure Canada, 2021). Toutefois, selon une récente estimation de la Fédération canadienne des municipalités, les municipalités à elles seules auraient à déboursé 5,3 milliards de dollars chaque année pour l'adaptation – soit plus de 10 fois le montant offert par le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (BAC et FCM, 2020).

Le gouvernement fédéral a également tenté d'intégrer le concept de résilience à de nouveaux projets d'infrastructures qu'il finance avec l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada, qui oblige les demandeurs à évaluer les risques climatiques

et à intégrer l'adaptation à la conception des projets (Infrastructure Canada, 2020). Cependant, Infrastructure Canada donne peu de directives sur la façon de mener ces évaluations. Résultats : des efforts parfois superficiels et une rigueur inconstante (Li et coll., 2019). Ajoutons que seule une fraction des projets d'infrastructures sont tenus de s'y conformer : l'Optique des changements climatiques ne s'applique ni aux projets qui ne reçoivent pas de financement fédéral ni aux projets du secteur privé ou aux développements immobiliers. Les petites communautés et entreprises, comme les individus, n'ont souvent ni l'expertise ni la capacité d'évaluer la vulnérabilité climatique des infrastructures ou des propositions, ce qui limite leur capacité de mener de telles évaluations ou d'intégrer les risques climatiques à la planification et à l'entretien des infrastructures (Ingénieurs Canada, 2016).

Une bonne partie des codes et des normes qui régissent la construction des infrastructures au Canada ne tiennent pas compte des dangers climatiques dans leurs directives de conception, et ceux qui les abordent ne font que commencer à intégrer les risques des changements à venir (vents plus violents, précipitations plus abondantes, modification de la charge de neige). Le Code national du bâtiment du Canada ne sera pas entièrement mis à jour pour tenir compte des changements climatiques avant 2025, après quoi les codes du bâtiment des provinces et des territoires seront tenus de suivre un processus de mise à jour distinct pour refléter le code national, si les gouvernements provinciaux et territoriaux décident d'emboîter le pas au fédéral (Arsenault, 2019). Le manque d'accès aux renseignements sur les risques climatiques existants et à venir des propriétaires, des constructeurs et des concepteurs d'infrastructures est également un frein qui empêche ces derniers de comprendre et de gérer les risques, même s'ils en ont la volonté. Par exemple, le Canada ne dispose pas d'une carte publique complète des plaines inondables qui montrerait aux propriétaires de résidences ou d'infrastructures si leurs actifs risquent d'être inondés (Henstra et coll., 2019). Les quelques cartes qui existent sont souvent désuètes, trop peu détaillées ou manquent de constance d'une zone à l'autre. Et seulement 6 % de la population du Canada

qui demeure en zone inondable sont au courant des risques que court leur résidence (Ziolecki et coll., 2020).

Les risques climatiques physiques pour les infrastructures et les actifs ne sont pas non plus évalués ni divulgués dans le secteur financier public et privé. Le Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (GIFCC) et le Groupe d'experts sur la finance durable du Canada ont tous deux recommandé que les risques climatiques physiques soient divulgués afin que leurs coûts soient intégrés aux marchés et aux transactions financières, mais cette pratique ne s'est toujours pas répandue au Canada (Gouvernement du Canada, 2019; GIFCC, 2017). Les risques climatiques physiques pour le secteur immobilier résidentiel ne sont pas divulgués par les sociétés d'assurance habitation, les banques ou autres prêteurs hypothécaires, pas plus qu'ils ne le sont pour les titres adossés à des créances hypothécaires. De manière générale, les sociétés de placement immobilier n'examinent pas non plus ces risques dans leurs portefeuilles, et ne les divulguent pas à leurs actionnaires. Les investisseurs n'ont donc aucune idée de la probabilité que les infrastructures, les entreprises et les secteurs dans lesquels ils investissent perdent de la valeur à cause de l'ampleur croissante des dommages entraînés par les changements climatiques. Dans certains cas, le gouvernement fédéral aide même les propriétaires à accéder à des capitaux pour des achats ou des constructions en zone à risque par une assurance hypothécaire et des programmes de développement économique. Tous les ordres de gouvernements envoient également des signaux de prix contre-produ-

tifs, qui encouragent le développement urbain dans des zones à haut risque, notamment en continuant de construire des hôpitaux et d'autres services publics en zone inondable (Clark et coll., 2021).

Des investissements proactifs pour une réduction considérable des coûts à venir

Les changements climatiques représentent un danger réel et immédiat pour les infrastructures publiques et privées du Canada et les services sociaux et économiques essentiels qu'elles fournissent. Toutefois, jusqu'ici, la réponse à cet enjeu n'a pas su contrer la menace. Il faut en faire davantage pour que les gouvernements, les propriétaires, les exploitants et les investisseurs aient les moyens financiers, les renseignements et les incitatifs nécessaires pour construire des infrastructures résilientes et adapter les infrastructures existantes à un climat changeant.

En examinant à la fois les coûts potentiels des changements climatiques pour certaines des plus importantes infrastructures du Canada et les avantages économiques d'une adaptation proactive, nous mettons en lumière la nécessité et la possibilité d'en faire plus immédiatement. Nos recommandations portent sur des mesures qui sont déjà à la portée des décideurs pour favoriser des décisions réfléchies visant à pallier les lacunes en matière de résilience des infrastructures du Canada.





3 NOTRE APPROCHE

Notre analyse des répercussions et des coûts probables des changements climatiques pour les infrastructures canadiennes porte spécifiquement sur l'ampleur des principales répercussions des changements climatiques et des coûts qui s'y rattachent pour les routes, les voies ferrées, les résidences et bâtiments et les réseaux électriques. La modélisation s'est déroulée en quatre principales étapes :

1. Nous avons déterminé les catégories d'infrastructures vulnérables, qui seront grandement touchées par le réchauffement climatique.
2. Nous avons fait une projection des conditions climatiques et des dangers au Canada.
3. Nous avons effectué une estimation prospective de la fréquence des dommages, des perturbations et des interruptions de service des infrastructures.
4. Nous avons calculé les répercussions financières des dommages liés au climat et les avantages économiques de l'adaptation.

Nous avons été aidés par Industrial Economics, une équipe possédant une vaste expertise de l'analyse

des répercussions et des coûts des changements climatiques, qui compte parmi ses clients la Banque mondiale et l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis. L'équipe a elle-même fait appel à Resilient Analytics, qui a développé des modèles poussés pour estimer les répercussions et les coûts des changements climatiques pour les infrastructures et les avantages de l'adaptation pour l'EPA et de nombreux autres organismes gouvernementaux dans le monde. De plus amples renseignements sur l'approche analytique et les résultats détaillés peuvent être consultés dans le [rapport d'analyse technique](#).

Nous avons également retenu les services de Navius Research, qui nous a aidés à estimer la modification de la demande en électricité entraînée par l'évolution des besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments en raison des changements climatiques projetés dont nous discutons à la section 6. Le détail de la méthode et des résultats de cette firme se trouvent dans son [rapport technique](#).

Principaux risques pour les infrastructures : bâtiments, routes, voies ferrées et réseaux électriques

Les changements climatiques auront une incidence sur les dangers liés au climat, ce qui menacera les infrastructures et compromettra leurs services. Le tableau 3.1 présente des façons dont les changements climatiques pourraient physiquement endommager les infrastructures au Canada ainsi que les principaux résultats de ces répercussions. Il est cependant impossible de quantifier toutes les répercussions et de toutes leur attribuer un coût. Dans certains cas, il n'est pas encore possible de projeter les effets des changements

climatiques sur un type de danger susceptible d'endommager d'importantes infrastructures, comme les répercussions des tempêtes de verglas et des tornades sur les réseaux électriques. Dans d'autres cas, nous ne détenons pas encore les connaissances ou les données probantes pour simuler avec exactitude l'incidence d'un danger climatique donné sur certains types d'infrastructures et de services comme les effets de l'élévation du niveau de la mer sur les ports et les voies navigables. Même lorsqu'on peut simuler les répercussions sur les infrastructures, il n'est pas toujours possible de chiffrer le coût de réparation des dommages ou les pertes de services, comme les interruptions des activités causées par les pannes de courant liées aux phénomènes météorologiques.

Tableau 3.1

Menaces des changements climatiques pour les infrastructures et implications pour les services essentiels

Infrastructures	Dangers climatiques	Répercussions physiques	Pertes de services
Réseaux électriques	<ul style="list-style-type: none"> Changements des précipitations Augmentation des températures Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes (grêle, tempête de verglas, vents violents, tornades) Augmentation de la fréquence et de l'ampleur des feux incontrôlés 	<ul style="list-style-type: none"> Effets sur la production d'hydroélectricité Changements dans la demande en électricité Réduction de l'efficacité des lignes électriques Lignes électriques tombées ou endommagées Augmentation de la fréquence des pannes de courant 	<ul style="list-style-type: none"> Perturbation des services essentiels (soins de santé, aqueducs, transports en commun) Pannes de chauffage ou de climatisation Interruption des communications
Télécommunications	<ul style="list-style-type: none"> Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes Augmentation de la fonte du pergélisol 	<ul style="list-style-type: none"> Domages aux équipements et aux conduits Pertes et fluctuations de puissance 	<ul style="list-style-type: none"> Interruption temporaire de services Internet et de téléphonie cellulaire Perturbation des services d'urgence
Routes et voies ferrées	<ul style="list-style-type: none"> Modification des risques d'avalanche Augmentation de l'érosion et des glissements de terrain Augmentation de la fréquence des inondations et de la hauteur des ondes de tempête Augmentation des températures Augmentation de la fonte du pergélisol Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> Blocage des routes et des voies ferrées par la neige Destruction des routes et des voies ferrées Érosion des routes et des voies ferrées Domages au revêtement routier et aux voies ferrées Conditions de conduite et de déplacement dangereuses 	<ul style="list-style-type: none"> Perturbation du transport Retards dans le transport de produits de première nécessité (nourriture, carburant) Augmentation du risque d'accidents liés aux déplacements Augmentation des taxes et des frais d'expédition

Infrastructures	Dangers climatiques	Répercussions physiques	Pertes de services
Aéroports et voyages aériens	<ul style="list-style-type: none"> · Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes · Augmentation des températures · Augmentation de la fonte du pergélisol · Augmentation de la fréquence des inondations et de la hauteur des ondes de tempête 	<ul style="list-style-type: none"> · Conditions de vol dangereuses · Dommages aux équipements et aux installations · Nécessité d'allonger les pistes · Augmentation des turbulences · Dommages aux pistes et répercussions sur les installations 	<ul style="list-style-type: none"> · Perturbation du transport · Retards dans le transport de produits de première nécessité, de nourriture et du courrier · Fermetures de service aérien dans certaines communautés · Augmentation des coûts des billets et des frais afférents
Aqueducs et infrastructures d'eaux usées	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de la fréquence des inondations et de la hauteur des ondes de tempête · Augmentation de la fonte du pergélisol · Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> · Débordement des réseaux d'égouts pluviaux · Contamination de l'eau potable · Dommages aux usines de traitement des eaux usées · Gel et débordement des égouts pluviaux 	<ul style="list-style-type: none"> · Interruption de l'accès à l'eau potable · Inondations locales et refoulements d'égouts dans les résidences · Augmentation des taxes pour couvrir les réparations
Résidences et bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de la fréquence des inondations et de la hauteur des ondes de tempête · Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes · Augmentation de la fonte du pergélisol · Augmentation de la fréquence et de l'ampleur des feux incontrôlés 	<ul style="list-style-type: none"> · Dommages aux résidences et bâtiments causés par les inondations · Dommages aux structures causés par la grêle, les tornades et le vent · Dommages aux fondations et à la stabilité des bâtiments · Dommages causés par le feu ou la fumée 	<ul style="list-style-type: none"> · Pertes ou dommages – résidences et objets de valeur · Augmentation des primes d'assurance · Déplacements de quartiers ou de communautés · Conditions de vie dangereuses
Barrages et mines	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de l'érosion et des glissements de terrain · Augmentation de la fonte du pergélisol · Augmentation de la fréquence des inondations et de la hauteur des ondes de tempête 	<ul style="list-style-type: none"> · Défaillance des bassins de résidus et des barrages · Dommages à l'équipement minier · Dommages aux infrastructures en aval 	<ul style="list-style-type: none"> · Hausses des taxes pour couvrir le coût des réparations et du nettoyage · Dommages aux écosystèmes environnants · Déplacement de quartiers ou de communautés
Infrastructures maritimes	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de la fréquence des inondations et de la hauteur des ondes de tempête · Élévation du niveau de la mer · Multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes · Fluctuation du niveau des eaux intérieures 	<ul style="list-style-type: none"> · Perturbation des activités portuaires · Dommages aux pieux et aux quais · Débris dans les voies navigables · Conditions de navigation dangereuses 	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation du coût des biens · Retards dans la livraison de nourriture et de produits de première nécessité · Répercussions sur les services de traversiers

Une infrastructure se dégrade rarement seule. Souvent, la dégradation d'un système d'infrastructures a un effet domino; elle se répercute sur d'autres systèmes (Committee on Climate Change du Royaume-Uni, 2016). Les villes et villages du Canada sont constitués d'infrastructures hautement interreliées : les feux de circulation ont besoin d'électricité, les services d'urgence dépendent des tours de téléphonie cellulaire, les aéroports nécessitent un approvisionnement régulier en carburant par camion ou par train. Et ce ne sont là que quelques-unes des nombreuses interdépendances qui font en sorte que les coûts et les répercussions d'un événement initial peuvent faire boule de neige. Comme nous ne modélisons pas cet effet en cascade directement dans ce rapport, il est possible que nous sous-estimions grandement les coûts et les dommages des répercussions actuelles des changements climatiques.

Étant donné qu'il n'est ni possible ni réaliste de quantifier tous les effets des changements climatiques sur les infrastructures au Canada, nous nous sommes penchés sur les principales répercussions desquelles nous pouvions analyser le potentiel de coûts importants à une échelle nationale. Nous avons entrepris un processus de priorisation par étapes pour sélectionner

les infrastructures et les répercussions climatiques qui feraient l'objet de notre analyse :

1. Nous avons examiné la façon dont les dangers climatiques au Canada – inondations, canicules, réchauffement global, sécheresses, blizzards, etc. – devraient évoluer au cours du siècle en nous basant sur des études et des données probantes.
2. Nous avons examiné les incidences possibles de ces dangers changeants sur les infrastructures au Canada et les services qui s'y rattachent en nous appuyant sur des recherches actuelles à propos des répercussions liées au climat sur les infrastructures dans le monde.
3. Nous avons déterminé quelles répercussions des dangers du climat sur les infrastructures et les services qui s'y rattachent auraient le plus important effet économique sur le Canada.
4. Finalement, nous avons choisi les répercussions importantes à simuler et à quantifier à l'échelle nationale au Canada, compte tenu de l'état actuel de la science, de la disponibilité des données et des outils de modélisation.

Le tableau 3.2 présente les priorités en matière de types d'infrastructures, de dangers climatiques et de répercussions potentielles qui sont ressorties de ce processus :

Tableau 3.2

Répercussions sur les infrastructures prioritaires à analyser

Types d'infrastructures	Dangers climatiques	Répercussions potentielles
Résidences et bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation des inondations 	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de la fréquence et de la gravité des dommages
Routes et voies ferrées	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation des températures et de la fréquence des épisodes de chaleur extrême · Augmentation des précipitations · Changement des cycles de gel et de dégel 	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de la fréquence et de la gravité des dommages, réduction de la durée de vie, retards dans le réseau de transport
Réseaux électriques	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation des températures et de la fréquence des épisodes de chaleur extrême · Augmentation des précipitations · Changements des températures saisonnières 	<ul style="list-style-type: none"> · Augmentation de la fréquence et de la gravité des dommages aux infrastructures de transport et de distribution, réduction de la durée de vie · Fluctuations de la demande d'électricité et des périodes de demande de chauffage et de climatisation

Nous avons validé nos choix en consultant d'autres études nationales sur les risques climatiques, comme le projet Climate Change Impacts and Risk Analysis de l'EPA aux États-Unis et la projection des impacts économiques des changements climatiques sur certains secteurs en Europe basée sur des analyses ascendantes (PESETA) de l'Union européenne (Ciscar et coll., 2019; EPA, 2020). Nous avons constaté que ces études avaient globalement établi les mêmes priorités en matière de répercussions et de coûts pour les infrastructures que celles que nous avons dégagées de notre côté.

Le portrait global des répercussions et des coûts liés au climat sur les infrastructures au Canada sera bien entendu beaucoup plus exhaustif que ce que nous

avons pu analyser. Il y aura des répercussions sur d'autres types d'infrastructures que celles étudiées dans ce rapport, et nous n'avons pas été en mesure de quantifier toutes les répercussions associées aux infrastructures examinées – notamment l'effet de l'interruption de services sur les retombées économiques et la vie et le rythme de vie de la population (figure 3.1). Toutefois, à eux seuls, les coûts et les répercussions que nous avons ciblés sont substantiels – de l'ordre des dizaines de milliards de dollars par année – et montrent à la fois la portée globale des risques climatiques sur les infrastructures du Canada et les avantages d'investir rapidement et judicieusement dans l'adaptation.



Figure 3.1

Répercussions connues et inconnues sur les infrastructures au Canada

Les changements climatiques augmentent les risques de dommages aux infrastructures et d'interruptions de service partout au Canada. Certains de ces risques sont assez bien compris, et leurs répercussions et leurs coûts peuvent être estimés. Toutefois, beaucoup d'autres demeurent occultes : la science et les données nécessaires pour les expliquer et déterminer leur gravité n'existent pas encore. En outre, il est clair que de nouveaux risques, jamais anticipés, feront leur apparition. Le Canada devrait chercher à améliorer ses connaissances, mais les conséquences et le fardeau économique des changements climatiques ne sauront jamais être entièrement compris. Dans ce contexte d'incertitude, les choix en matière d'adaptation des infrastructures doivent favoriser la résilience puisque nous ne savons pas ce que l'avenir nous réserve; ils doivent être flexibles et adaptables aux conditions changeantes.

RISQUES DÉJÀ CONNUS pour lesquels nous pouvons commencer à calculer l'échelle des répercussions et des coûts

Fonte du pergélisol nuisant aux routes, aux bâtiments et aux aéroports dans le Nord

Domages plus fréquents aux maisons et aux autres bâtiments occasionnés par des inondations

Surutilisation des réseaux routiers, ferroviaires et électriques en raison de chaleur intense

Domages dans les communautés et les ports côtiers en raison de l'augmentation du niveau de la mer

RÉPERCUSSIONS CLIMATIQUES ENTREVUES POUR LE CANADA mais pour lesquelles nous n'avons pas encore les outils pour comprendre la portée et l'échelle

Plus de tempêtes de verglas et de vents extrêmes causant des pannes d'électricité majeures

Interruptions plus fréquentes de services essentiels qui dépendent de l'électricité, comme l'approvisionnement en eau et les télécommunications

Changements imprévisibles de la capacité de production hydroélectrique en raison de la modification du régime des précipitations

Domages plus importants des feux incontrôlés sur les maisons, les autres bâtiments et les infrastructures essentielles

Dégradation accélérée des matériaux des bâtiments en raison de températures plus élevées, de pluies plus importantes et de plus fortes concentrations en CO₂

Chute majeure de la valeur des biens immobiliers et physiques entraînant une instabilité du système financier

Répercussions sur la santé publique découlant de perturbations dans les soins de santé et les systèmes alimentaires

Effet domino à travers des systèmes d'infrastructure interdépendants causant des perturbations sociales et économiques majeures

RISQUES AUX RÉPERCUSSIONS POTENTIELLEMENT MAJEURES par des interactions et des processus complexes très difficiles à prévoir

Projections climatiques au Canada

Pour modéliser les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures, il nous a d'abord fallu nous représenter le futur climat canadien. Les travaux sur les répercussions des changements climatiques se basent généralement sur des projections de l'évolution du climat mondial selon les émissions de gaz à effet de serre. Les modèles ne permettent pas de décrire le climat qui résultera d'une variation des émissions mondiales, mais prévoient plutôt un éventail de scénarios. C'est qu'il y a de nombreuses façons de représenter la complexité du système climatique mondial ainsi que l'incertitude quant aux choix de société déterminants pour les émissions de gaz à effet de serre à venir. Nous avons utilisé les données de sept différents modèles climatiques, selon deux scénarios d'émissions différents, pour couvrir un large spectre de climats futurs au Canada.

Les résultats des sept différents modèles climatiques nous proviennent du Centre canadien des services climatiques. Les services climatiques nous ont fourni des ensembles de données élaborés par le Pacific Climate Impacts Consortium, qui fait des projections quotidiennes des températures et des précipitations de 2041 à

2100 avec une résolution de 10 km sur 10 km pour l'ensemble du Canada (PCIC, 2019). Ces sept modèles climatiques ont été utilisés pour toutes les analyses des répercussions à l'exception de celles des submersions côtières. Comme les modèles ne simulent pas directement l'élévation du niveau de la mer, nous avons utilisé les dernières projections basses, moyennes et élevées de l'élévation du niveau de l'eau sur les côtes du pays produites par Ressources naturelles Canada pour reproduire l'incertitude de la situation côtière (James et coll., 2021).

Pour chaque modèle climatique, nous avons étudié deux scénarios d'émissions possibles. Notre scénario d'émissions modérées correspond au scénario 4.5 des trajectoires représentatives de concentration (RCP) du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014), qui reflète un réchauffement mondial correspondant à des politiques internationales de réduction des gaz à effet de serre annoncées en 2020 (voir l'encadré). Pour les modèles climatiques utilisés dans notre analyse, ce scénario d'émissions suppose une augmentation moyenne des températures au Canada de 3,8 °C d'ici le milieu du siècle et de 4,5 °C d'ici fin du siècle, comparativement à la moyenne de 1971



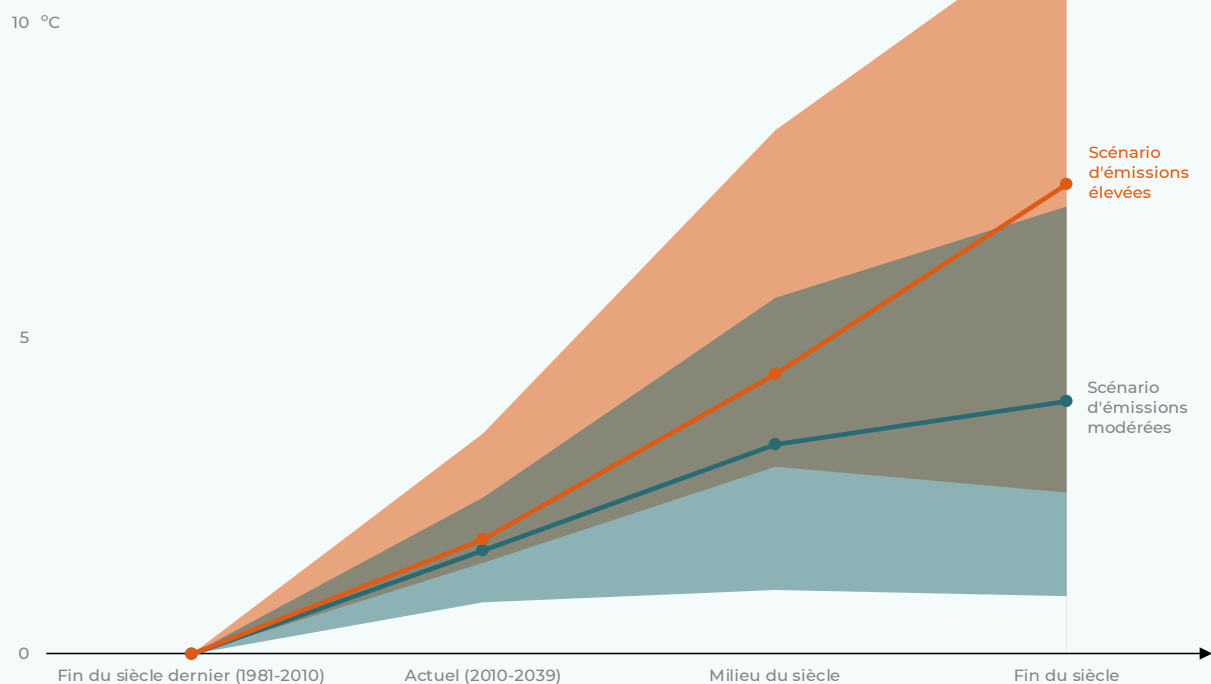
à 2000 (figure 3.2). Notre scénario d'émissions élevées correspond au scénario 8.5 des RCP du GIEC et reflète une trajectoire où la tendance d'émissions actuelle se poursuit dans le monde et où les pays prennent peu de mesures supplémentaires de réduction des émissions

ou d'autres formes d'atténuation. Ce scénario se traduit par une augmentation moyenne des températures au Canada d'environ 4,9 °C d'ici le milieu du siècle et d'environ 5,8 °C d'ici la fin du siècle.

Figure 3.2

Hausse des températures deux fois plus rapide au Canada que dans le reste du monde

Projection de l'augmentation annuelle moyenne de la température quotidienne moyenne au Canada





Prévoir les répercussions des changements climatiques malgré l'incertitude

En 2016, dans le cadre de l'Accord de Paris, plusieurs pays s'engageaient à limiter l'élévation de la température moyenne mondiale « nettement en dessous de 2 °C [...] et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C » Or au moment où nous avons réalisé notre analyse (fin de l'année 2020), les politiques et les engagements mis de l'avant par les gouvernements n'étaient susceptibles de limiter le réchauffement que d'environ 2,5 °C (Climate Action Tracker, 2020).

Dans notre analyse, le « scénario d'émissions modérées » est basé sur le scénario 4.5 des RCP du GIEC, qui lui aussi prévoit un réchauffement mondial d'environ 2,5 °C (comme le montre la figure 3.2, les températures au Canada devraient augmenter deux fois plus que la moyenne mondiale; une augmentation de 2,5 °C en moyenne sur la planète équivaut donc à une augmentation moyenne de 4,5 °C au Canada). En 2020, ce scénario figurait parmi les estimations basses réalistes des émissions à venir et du réchauffement mondial dont nous disposions.

Cela dit, nous ne nions pas la possibilité de limiter le réchauffement à 1,5 °C ou à 2 °C. Depuis la fin de 2020, on assiste à une série de nouveaux engagements de pays qui promettent de réduire considérablement leurs émissions d'ici 2030 et d'atteindre la carboneutralité d'ici le milieu du siècle. Bien que ces engagements, au moment de la rédaction de ce rapport, demeuraient insuffisants pour l'objectif de 1,5 °C ou de 2 °C, il s'agit d'un grand pas dans la bonne direction (ONU, 2021).

Nous continuons de croire que notre scénario d'émissions modérées est celui qui convient à notre analyse malgré les récents développements. Pour le moment, il n'y a pas de modélisation du climat qui simule un monde où ce genre d'engagement carboneutre est mis en œuvre. La modélisation effectuée dans le cadre du cinquième rapport d'évaluation du GIEC il y a environ 10 ans comportait des scénarios aux réductions plus grandes que dans le scénario 4.5 des RCP, mais les émissions actuelles depuis ont largement dépassé ces prévisions (Carbon Brief, 2019). Notre scénario d'émissions modérées basé sur le scénario 4.5 des RCP dressera donc probablement un portrait plus juste du climat canadien d'ici le milieu du siècle. Il permet de mieux tenir compte des émissions mondiales passées avec lesquelles le Canada devra composer que des scénarios plus optimistes du

cinquième rapport d'évaluation. Les résultats de notre scénario d'émissions modérées démontrent donc qu'à ce stade, le Canada ne récoltera les fruits d'une transition internationale rapide visant à limiter le réchauffement à 1,5 °C ou à 2 °C probablement qu'après 2050.

Ces résultats nous aident tout de même à visualiser les avantages d'une transition mondiale rapide vers la carboneutralité. Il est probable que nos résultats du milieu du siècle pour le scénario d'émissions modérées correspondent à la limite maximale sous laquelle les répercussions pourraient être contenues si la cible de 1,5 °C ou de 2 °C était atteinte. Et comme nos résultats le montrent, les probabilités que le Canada limite les répercussions sur les infrastructures par l'adaptation augmenteront nettement si le réchauffement mondial est refréné.

Dans chacune des combinaisons de modèle climatique et de trajectoire de concentration, nous avons analysé les répercussions des dangers d'un climat changeant sur les infrastructures et les coûts qui y étaient rattachés dans deux horizons temporels : 2041 à 2070, soit « milieu du siècle », et de 2071 à 2100, soit « fin du siècle ». L'analyse du milieu du siècle donne une idée des répercussions à moyen terme, tandis que celle de la fin du siècle montre les possibilités d'accélération, de plateau ou de diminution des répercussions jusqu'en 2100. L'analyse sur 30 ans est pratique courante pour évaluer les effets des changements climatiques puisqu'elle fait une moyenne des variations à court terme pour mieux faire ressortir les changements globaux (Gillingham et coll., 2018).

Ainsi, nous avons modélisé 28 scénarios de toutes les répercussions (sauf les submersions côtières) sur les infrastructures à partir de sept modèles climatiques, de deux scénarios d'émissions et de deux horizons temporels. (Pour les submersions côtières, nous avons utilisé les trois projections d'élévation du niveau de la mer de Ressources naturelles Canada plutôt que les sept modèles climatiques, pour un total de 12 permutations.)

Comme nous l'avons souligné précédemment, la variabilité du climat perturbe et endommage déjà les infrastructures et les services connexes au Canada, car elle excède les scénarios prévus par les concepteurs, et nous avons déjà commencé à vivre des changements climatiques qui accéléreront ces répercussions. En outre, les décisions en matière d'infrastructures prises aujourd'hui ont d'importantes implications à long terme, car la durée de vie de la plupart des infrastructures se mesure en décennies. Par exemple, les infrastructures sur lesquelles nous avons fait porter notre analyse peuvent durer de 20 à 100 ans, et les délais entre les grands travaux d'entretien – qui donneraient l'occasion d'entreprendre des rénovations substantielles – pourraient s'étirer jusqu'à 20 ans (tableau 3.3). Ainsi, les décisions prises maintenant quant à l'emplacement, aux méthodes de construction et à l'entretien des infrastructures sont déterminantes pour leur résistance aux répercussions climatiques – et pour la durabilité des services qu'elles fournissent à la société et à l'économie du Canada – dans les prochaines décennies, voire plus.

Tableau 3.3

Durée de vie et cycles d'entretien des infrastructures

Infrastructures	Délais entre les grands travaux d'entretien (années)	Durée de vie totale (années)
Résidences et bâtiments	15-20	50-100
Routes	5-10	20-50
Transport ferroviaire	10-20	50-100
Transport et distribution d'électricité	5-10	30-50

Source : (Gibson, 2017)

Évaluation du coût des dommages liés au climat sur les infrastructures

Pour estimer les dommages potentiels aux infrastructures des principaux dangers climatiques, nous avons adapté des modèles existants ou en avons développé de nouveaux pour estimer les dommages, l'usure et les besoins de remplacement liés à divers dangers. Chaque modèle de dommages est expliqué plus en détail dans les sections suivantes.

Ces modèles nécessitent deux types d'intrants : des renseignements sur les infrastructures et des données sur les dangers climatiques. Nous avons caractérisé les données sur la quantité et l'emplacement des infrastructures ciblées par notre analyse en utilisant des cartes et des bases de données numériques très détaillées, pour localiser les bâtiments, les infrastructures de transport, et les infrastructures de transport et de distribution d'électricité au Canada. Nous avons ensuite effectué des projections des dangers susceptibles de présenter un risque pour les infrastructures en utilisant nos modèles climatiques détaillés à échelle nationale, comme indiqué précédemment.

Nous avons estimé la valeur des dommages aux infrastructures en utilisant des données sur le coût de réparation et de remplacement provenant de bases de données nationales sur les infrastructures,

d'études économiques sur les coûts d'immobilisation et d'exploitation des infrastructures, et des normes d'ingénierie. Dans la mesure du possible, nous avons utilisé les données du Canada, mais sinon, nous avons adapté l'information d'autres pays (le plus souvent les États-Unis). Nous avons isolé les coûts des dommages attribuables aux changements climatiques en estimant le coût de réparation et de remplacement des infrastructures dans un climat futur et en soustrayant le coût des réparations et des remplacements habituels dans des conditions climatiques passées, représentées par la période de 1971 à 2000.

Comme nous l'avons décrit précédemment, les répercussions économiques des dommages aux infrastructures et des bris vont bien au-delà des coûts de réparation et de remplacement. Les interruptions et perturbations de services fournis par ces infrastructures ont de nombreuses répercussions secondaires et indirectes. La plupart de ces répercussions et de ces coûts secondaires, comme les coûts des perturbations de la chaîne d'approvisionnement et de l'interruption des activités, sont difficiles à simuler, car extraordinairement complexes. Cependant, nous avons pu adapter des travaux des États-Unis pour estimer quelques-uns des coûts de l'interruption des activités liées aux retards en transport provoqués par les dommages aux routes et aux voies ferrées et aux interruptions de services à prévoir. Les résultats illustrent bien, quoique partiellement, que les coûts indirects des

pertes et des interruptions de services d'infrastructures ont au moins la même ampleur que les coûts directs des dommages et des réparations. Ainsi, une chose est sûre : les économies possibles générées par l'adaptation vont bien au-delà d'une réduction des coûts de réparation et de remplacement.

Dans la plupart des cas, nous présentons une moyenne annuelle des coûts ou des économies pour la période en question – le milieu du siècle ou la fin du siècle décrits précédemment. Lorsque, pour nos analyses, nous devons comparer les dépenses actuelles aux coûts ou aux avantages futurs, nous avons appliqué un taux d'actualisation de 3 %.

Dans la majorité de nos analyses, nous avons supposé que le nombre d'infrastructures – résidences, bâtiments, routes, voies ferrées et infrastructures d'électricité – resterait inchangé jusqu'à la fin du siècle. Nous savons que davantage d'infrastructures seront construites pour servir les communautés dans les 80 prochaines années, mais le type et l'emplacement de ces dernières est difficile à prévoir. Par exemple, le nombre de routes et de voies ferrées dépendra non seulement de la population, mais aussi de l'énergie, des politiques d'aménagement du territoire et des virages technologiques. Supposons que le nombre d'infrastructures actuel dans notre analyse permette de comparer raisonnablement les coûts actuels et les coûts futurs possibles : si les nouvelles infrastructures construites au Canada sont aussi vulnérables aux répercussions sur le climat, les coûts futurs réels des infrastructures qui occupent une place centrale dans notre analyse pourraient être substantiellement plus grands que nos estimations.

Pour notre analyse de la demande d'électricité, le modèle que nous avons utilisé tenait déjà compte des fluctuations provoquées par la croissance démographique et économique prévue ainsi que des politiques climatiques mises en œuvre et annoncées par le fédéral et les provinces qui auront un effet sur la demande. Comme ces projections étaient déjà intégrées au modèle, nous les avons utilisées pour calculer un nouveau point de référence à chaque période de notre analyse, ce qui nous a permis de

comparer les contributions relatives de l'augmentation de la demande due à la croissance démographique et économique, et des fluctuations de la demande dues à l'évolution des besoins de chauffage et de climatisation dans un contexte de changements climatiques.

Projection des avantages de l'adaptation

Pour nos analyses du point de référence, nous avons supposé que les propriétaires et les exploitants d'actifs et d'infrastructures ne s'adapteraient pas de manière proactive. Nous avons supposé que lorsque les infrastructures seraient réparées ou remplacées dans le cadre de leur cycle de vie usuel, elles seraient remplacées par des infrastructures semblables. Par exemple, dans notre modèle, nous avons supposé qu'une résidence endommagée par une inondation serait reconstruite dans la même condition qu'avant et ne serait pas protégée contre d'éventuelles inondations. Nous avons appelé ces scénarios « *sans-adaptation* ».

Pour les routes et les infrastructures de transport et de distribution d'électricité, nous avons aussi examiné des scénarios où les infrastructures seraient réparées ou remplacées en utilisant des matériaux reflétant les changements du climat qui se sont produits depuis leur construction, car les normes de conception des infrastructures sont parfois mises à jour lorsque le climat se modifie (mais intègrent rarement les projections climatiques). Nous avons appelé ces scénarios « *adaptation réactive* ».

Enfin, nous avons intégré ce que nous avons appelé des mesures ou politiques d'« *adaptation proactive* » à nos modèles de répercussions pour montrer les avantages de mesures d'adaptation ciblées qui pourraient réduire les répercussions négatives des changements climatiques en les anticipant. Dans la plupart des cas, nous avons dû simuler les avantages du remplacement des infrastructures par une conception et des matériaux qui tiennent compte des projections climatiques plutôt que du climat mesuré dans un passé récent. Certaines situations impliquaient également la protection

d'infrastructures exposées aux dangers climatiques à venir, ou le déplacement ou l'abandon d'infrastructures lorsque les risques des dangers climatiques étaient inacceptables (tableau 3.4). Les politiques et pratiques étudiées ne couvrent pas l'ensemble des possibilités d'adaptation aux répercussions sur les infrastructures analysées dans notre rapport, mais servent à illustrer les avantages d'un investissement rapide et proactif.

Nous avons estimé les avantages économiques nets de l'adaptation en analysant la réduction des coûts des dommages ou des pertes, puis en soustrayant les coûts de mise en œuvre des mesures d'adaptation. Nous expliquons nos analyses d'adaptation plus en détail dans les sections suivantes.

Tableau 3.4

Mesures d'adaptation analysées

Catégories d'infrastructures	Mesures d'adaptation modélisées
Résidences et bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> · Ouvrages de protection contre les submersions côtières · Retrait stratégique des zones à haut risque d'inondation intérieure
Infrastructures routières et ferroviaires	<ul style="list-style-type: none"> · Utilisation de matériaux plus résilients au climat lors de l'entretien et du remplacement des routes et des voies ferrées · Capteurs perfectionnés pour relever la température des rails et surveiller les conditions dangereuses de chaleur extrême
Réseaux électriques	<ul style="list-style-type: none"> · Installation d'infrastructures de transport et de distribution plus résilientes (transformateurs, lignes de transport et poteaux)



4 RÉPERCUSSIONS SUR LES RÉSIDENCES ET BÂTIMENTS

Les résidences et bâtiments sont au cœur du bien-être des familles et du fonctionnement des entreprises, des gouvernements et des communautés. L'accès à un logement sécuritaire, abordable et culturellement approprié est la pierre angulaire pour une bonne santé et un outil d'épargne et de constitution d'un patrimoine important pour la classe moyenne. Les bâtiments institutionnels, commerciaux et industriels sont des emplacements vitaux pour le travail, le commerce, les services publics et les loisirs. De plus, comme nous l'avons expliqué dans la section précédente, l'immobilier est un secteur crucial pour le système économique et financier du pays.

Au Canada, les inondations sont la première cause de dommages et de pertes de résidences et de bâtiments (DPB, 2016). Bien que les gouvernements et les chercheurs n'aient pas encore mené d'analyse nationale exhaustive des répercussions des changements climatiques sur les risques d'inondation, diverses analyses régionales et locales indiquent que ces risques augmentent et continueront d'augmenter. Par exemple, selon une étude récente sur les risques d'inondation à Halifax, les pertes annuelles causées par cette catastrophe pourraient tripler d'ici la fin du siècle dans un scénario d'émissions élevées de gaz à effet de

serre dans le monde (Thistlethwaite et coll., 2018). Sans adaptation, les études indiquent que les pertes annuelles provoquées par la submersion côtière des propriétés au Canada pourraient gruger la moitié de la croissance annuelle du PIB d'ici le milieu du siècle (Withey et coll., 2016). Ces projections correspondent aux récentes observations de l'augmentation des risques et des coûts des inondations : entre 2005 et 2014, les inondations ont coûté plus de 12 milliards de dollars aux gouvernements, aux assureurs et aux particuliers (DPB, 2016).

Bien que notre analyse se centre sur les répercussions et les coûts des inondations, il ne s'agit pas des seuls grands risques que les changements climatiques font peser sur nos résidences et nos bâtiments. Les risques de feux incontrôlés, par exemple, augmentent d'un océan à l'autre – les changements climatiques allongent la saison des feux incontrôlés et accroissent le potentiel de croissance et de destruction de ceux-ci, tandis que de plus en plus de personnes habitent et travaillent près de forêts à risque d'incendie. Avant 2003, aucun feu incontrôlé au Canada n'avait provoqué de pertes de plus de 10 millions de dollars, mais les choses changent rapidement. En 2016, le feu incontrôlé à Fort McMurray, qui a détruit 2 600 résidences et entraîné des pertes assurées de 3,8 milliards de dollars, est devenu la catastrophe météorologique

la plus coûteuse de l'histoire du pays. Entre 2003 et 2017, les pertes assurées des feux incontrôlés ont atteint près de 5 milliards de dollars (Tamm et Christian Klose, 2019). Et les changements climatiques feront probablement augmenter la fréquence et l'intensité d'autres phénomènes météorologiques extrêmes qui causent déjà d'importants dommages aux résidences et aux bâtiments, comme les orages, les vents violents, la grêle, les ouragans et les tempêtes tropicales (Brown et coll., 2021).

Notre analyse porte principalement sur les dommages matériaux directs. Cependant, les inondations et les autres catastrophes météorologiques entraînent plusieurs autres coûts pour les communautés et la population touchées : intervention et nettoyage lors de catastrophes, répercussions sur la santé mentale, absences au travail, pertes d'entreprises et perturbations économiques (Clark et coll., 2021). Bien que les outils et les données permettant de quantifier ces coûts dans notre analyse n'existent pas encore, on constate une accumulation de données probantes indiquant que les coûts économiques et sociaux indirects des catastrophes météorologiques et des répercussions des changements climatiques pourraient être aussi élevés et durer aussi longtemps que les coûts directs des dommages (Deloitte, 2016; Hetherington et coll., 2018; Rao, 2020). Voilà pourquoi nos résultats doivent être vus comme des estimations conservatrices et basses des coûts d'inondation potentiels.

Approche de modélisation pour les résidences et les bâtiments

Pour simuler les répercussions possibles des changements climatiques sur les risques d'inondation des résidences et des bâtiments, nous avons conçu deux modèles uniques – un pour les inondations intérieures et l'autre pour les submersions côtières.

Comme de telles données ne sont pas disponibles au Canada, notre modèle de submersions côtières se base sur des données des États-Unis sur les dommages des inondations provenant du National Coastal Property Model pour établir une relation entre élévation du niveau de la mer et dommages (Lorie et coll., 2020). Pour estimer

l'ampleur des dommages et la valeur foncière des bâtiments endommagés, nous avons utilisé des cartes des résidences et des bâtiments dérivées des données ouvertes de Microsoft sur les empreintes de bâtiments au Canada, et les valeurs foncières du recensement de 2016 (Boehlert et coll., 2021; Microsoft, 2019).

Nous avons ciblé des zones représentatives aux États-Unis dont l'emplacement et l'aménagement étaient semblables à celui des zones côtières étudiées du Canada. Nous nous sommes ensuite basés sur les estimations de l'élévation du niveau de la mer produites par Ressources naturelles Canada pour faire des projections du niveau de la mer et de la hauteur de l'onde de tempête dans les zones à l'étude. En nous basant sur la relation entre l'ampleur des inondations et les dommages dégagée dans les données du Canada et des États-Unis sur l'emplacement des bâtiments et la valeur des propriétés, nous avons estimé les coûts totaux des dommages sur les côtes les plus peuplées du Canada – celles au sud de la Colombie-Britannique et celles du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard. Bien que les zones peuplées de Terre-Neuve-et-Labrador, des Territoires du Nord-Ouest, du Nunavut et des côtes au nord du Québec et de la Colombie-Britannique risquent tout autant d'être submergées, nous ne les avons pas incluses, car elles ne représentent qu'une fraction des résidences et bâtiments à risque, et que leur distribution étendue complexifie leur intégration au modèle. Nous n'avons pas non plus analysé le potentiel de submersions côtières autour des Grands Lacs, car la façon dont les changements climatiques influenceront le niveau des lacs demeure encore nébuleuse (Delaney et Milner, 2019).

Notre analyse sur les inondations intérieures se base sur la modélisation des risques de JBA Risk Management, une firme privée d'analyse des risques (JBA Risk Management, 2020). Nous avons choisi leurs données plutôt que les cartes des zones inondables publiques, car comme ces dernières excluent un grand nombre de régions du Canada, nous ne pouvions pas les utiliser pour mener une analyse à l'échelle nationale. C'est une pratique adoptée par le secteur de l'assurance et les chercheurs du domaine qui, en l'absence de cartes des zones inondables plus détaillées et exactes

du gouvernement, doivent eux aussi acheter de telles données pour mesurer le risque d'inondation. JBA simule les inondations fluviales (débordement des cours d'eau) et pluviales (débordement local des systèmes de drainage urbains dans les rues et bâtiments) dans l'ensemble du Canada et estime à la fois la fréquence d'inondation des différentes zones et les coûts annuels moyens des dommages aux bâtiments touchés. Bien que les cartographies de risques privées comme les données de JBA soient un peu moins précises que les cartes détaillées des zones inondables, en l'absence de tels outils publics, elles fournissent des renseignements précieux sur les risques d'inondation à grande échelle au Canada.

Pour établir un point de référence avec lequel comparer les dommages futurs projetés, nous avons d'abord estimé, dans notre modèle, les dommages actuels des inondations en utilisant la carte de JBA. Nous avons ensuite utilisé nos projections climatiques détaillées pour produire des estimations de la fréquence future des précipitations extrêmes qui causent des inondations. À partir de ces résultats, nous avons estimé l'augmentation des coûts des dommages causés par les inondations en ajustant les estimations des dommages annuels actuels de JBA en fonction de l'augmentation projetée de la fréquence des inondations.

Nous avons également examiné les avantages de l'adaptation aux deux types d'inondations. Pour les submersions côtières, nous avons simulé les avantages de la mise en œuvre de mesures de protection côtière, comme les ouvrages longitudinaux, l'élévation des structures vulnérables ou le rechargement des plages (ajout de sables et de cailloux sur les plages visant à absorber l'énergie d'une onde de tempête), en fonction de leur rentabilité pour chaque portion de la côte. Nous avons ensuite estimé la réduction des coûts de ces dommages sur une période de 30 ans par rapport aux coûts des mesures d'adaptation dans le but de produire une estimation des avantages directs nets. Nous nous sommes concentrés sur ces mesures d'adaptation, car elles font partie des approches les plus courantes en zones côtières, et que nous avons les données et les outils pour simuler leurs avantages. Il y a toutefois d'autres types de mesures d'adaptation que nous n'avons pas examinés,

dont l'achat et le retrait des résidences et bâtiments à haut risque de submersion en zone côtière, une mesure appelée « retrait stratégique » (nous l'avons toutefois intégré à notre modélisation de l'inondation intérieure).

Pour les inondations intérieures, nous avons étudié les possibilités d'adaptation de chaque scénario de modélisation en déterminant les coûts du retrait stratégique de divers nombres de résidences et de bâtiments à haut risque. Nous avons ensuite estimé la différence entre les coûts d'achat de ces propriétés au prix du marché et l'élimination des coûts annuels projetés des dommages à ces résidences et bâtiments pour produire une estimation des avantages directs nets. Bien qu'il existe plusieurs autres mesures d'adaptation pour protéger les résidences et les bâtiments des inondations pluviales et fluviales – ouvrages de défense comme les canaux de dérivation et les barrages ou l'installation d'appareils dans les résidences pour prévenir le refoulement d'égouts dans les sous-sols –, le choix de l'approche dépend de l'emplacement et du type d'inondation. Par conséquent, nous n'avons pu, dans notre analyse, estimer raisonnablement le type, l'ampleur et le coût des mesures d'adaptation pour les centaines de milliers de résidences et de bâtiments à risque aux quatre coins du pays.

Les changements climatiques feront grimper les coûts des inondations

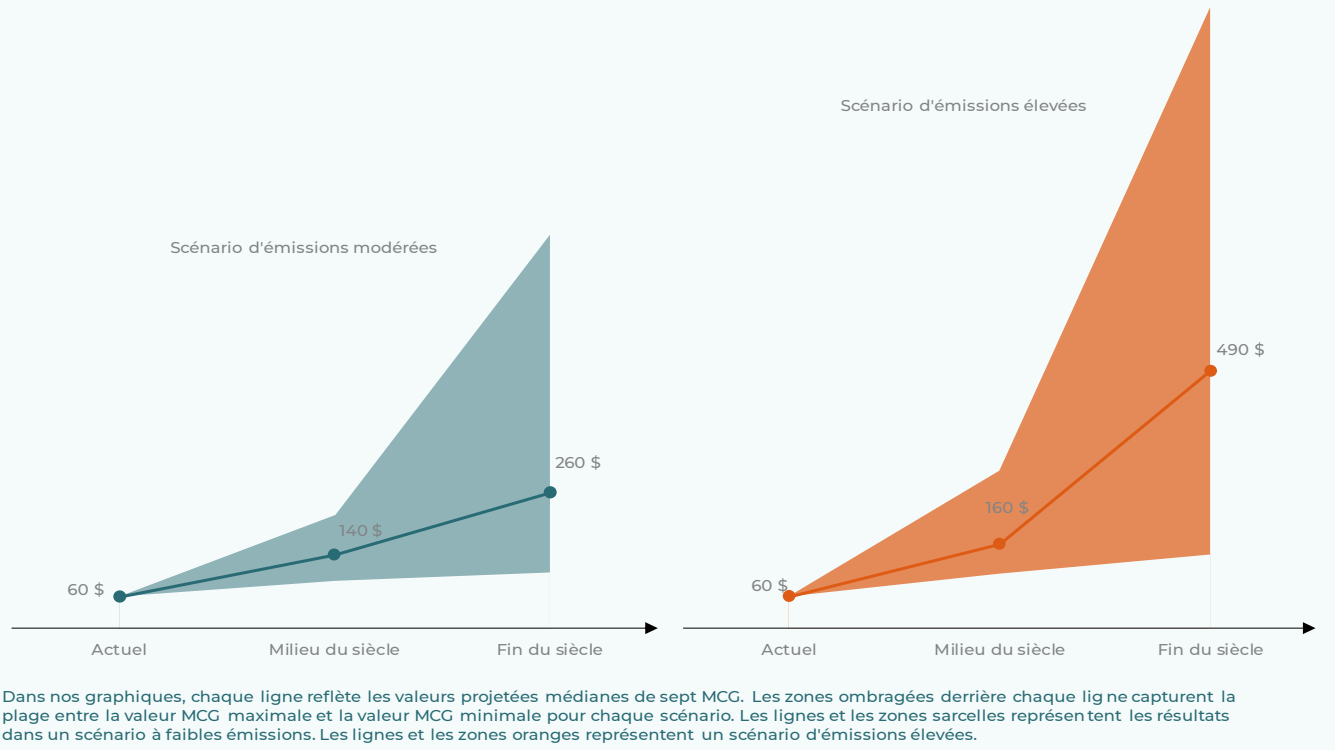
Notre analyse a révélé que les coûts des submersions côtières et des inondations intérieures pourraient être près de dix fois plus élevés d'ici la fin du siècle, et qu'aucune région du Canada ne sera épargnée.

L'analyse des submersions côtières montre que les dommages annuels pourraient augmenter d'environ 60 millions de dollars par année par rapport au niveau actuel, soit une médiane estimée à 130 millions de dollars d'ici le milieu du siècle selon le scénario d'émissions modérées et de presque 150 millions de dollars annuellement selon le scénario d'émissions élevées (figure 4.1). Il s'agit d'une augmentation substantielle, mais les estimations pour la fin du siècle sont encore plus préoccupantes. Bien qu'une grande part d'incertitude subsiste quant

Figure 4.1

Le coût des submersions côtières grimpera en flèche d'ici la fin du siècle

Projection des coûts annuels des submersions côtières au Canada en millions de dollars (CA de 2019)



à l'élévation du niveau de la mer, après le milieu du siècle la fourchette haute des projections implique la submersion permanente de plusieurs quartiers côtiers, une perte totale de valeur. D'autres quartiers n'ayant jamais été touchés par les ondes de tempête pourraient être inondés régulièrement lors des grandes tempêtes.

À l'extrémité haute de la fourchette de projections, les dommages annuels pourraient atteindre 750 millions de dollars selon un scénario d'émissions modérées et dépasser 1,2 milliard de dollars selon un scénario d'émissions élevées à la fin du siècle – entre 12 et 20 fois plus que le coût des dommages actuels.

Notre analyse des risques d'inondation intérieure (pluviale et fluviale) menée avec les données de JBA révèle que plus de 1,6 million des 11,8 millions de bâtiments cartographiés au Canada – soit 14 % du total – se situent dans des zones inondables de récurrence de 500 ans, ce qui signifie que, statistiquement, ils ont

0,2 % de chance d'être inondé au cours d'une année donnée. Il y a plus de 950 000 bâtiments, soit 8 %, en zone inondable de récurrence de 100 ans (1 % de risque d'inondation chaque année) et 550 000 bâtiments, soit 5 %, en zone inondable de récurrence de 20 ans (5 % de risque chaque année). À l'échelle nationale, nos modèles prévoient que ces risques se traduisent par des dommages d'environ 1,3 milliard de dollars chaque année, ce qui correspond à d'autres estimations des dommages annuels actuels causés par les inondations au Canada (DPB, 2016).

En analysant les risques d'inondation à venir, nos sept modèles climatiques prévoient une augmentation des précipitations extrêmes. La figure 4.2 montre les changements de fréquence que nous projetons pour un phénomène de précipitation historique de récurrence de 100 ans dans les métropoles canadiennes. Ce type de phénomène cause généralement des inondations aux

dommages importants – à titre indicatif, l'inondation de 2013 à Calgary qui a provoqué des milliards de dollars en dommages a été causée par un phénomène de récurrence de 10 à 15 ans (Teufel et coll., 2017). Selon nos estimations, ce qui constitue depuis longtemps un phénomène de précipitations de récurrence de 100 ans dans la région de Toronto, d'Edmonton ou de Calgary pourrait se produire aussi fréquemment qu'une fois tous les six ans d'ici la fin du siècle dans un scénario d'émissions élevées, ce qui se traduit par un risque annuel 17 fois plus élevé.

Lorsque nous avons appliqué les augmentations de précipitations extrêmes provoquées par les changements climatiques au modèle d'inondations intérieures de JBA, la médiane de l'augmentation des dommages s'est élevée à 5,7 milliards de dollars selon le scénario d'émissions modérées et à 6,8 milliards de dollars selon le scénario d'émissions élevées, respectivement, et certains modèles climatiques prévoient jusqu'à 8,1 milliards de dollars en dommages annuels selon un scénario d'émissions élevées

(figure 4.3). Selon le scénario d'émissions modérées, les dommages annuels moyens changent peu entre le milieu et la fin du siècle, tandis que selon le scénario d'émissions élevées, ils pourraient se multiplier de plus belle, atteignant même 12,4 milliards de dollars par année dans le modèle climatique qui prévoit la plus grande augmentation des précipitations (multiplication par 10).

Il est à noter que notre approche ne fait qu'évaluer l'augmentation des dommages liés aux changements climatiques pour les bâtiments inondables selon les données actuelles de JBA. Nos analyses ne peuvent mesurer que l'augmentation potentielle de l'ampleur des inondations et des dommages qui s'y rattachent pour les résidences qui sont en zone inondable actuellement. De manière réaliste, la taille des zones inondables augmentera substantiellement à mesure que les précipitations extrêmes augmenteront : il y aura donc davantage de résidences à risque et les dommages et les coûts dépasseront nos estimations.

Figure 4.2

Un climat qui se réchauffe signifie des inondations plus fréquentes et plus graves dans les villes canadiennes

Probabilité qu'une inondation majeure se produise au cours d'une année donnée d'ici la fin du siècle

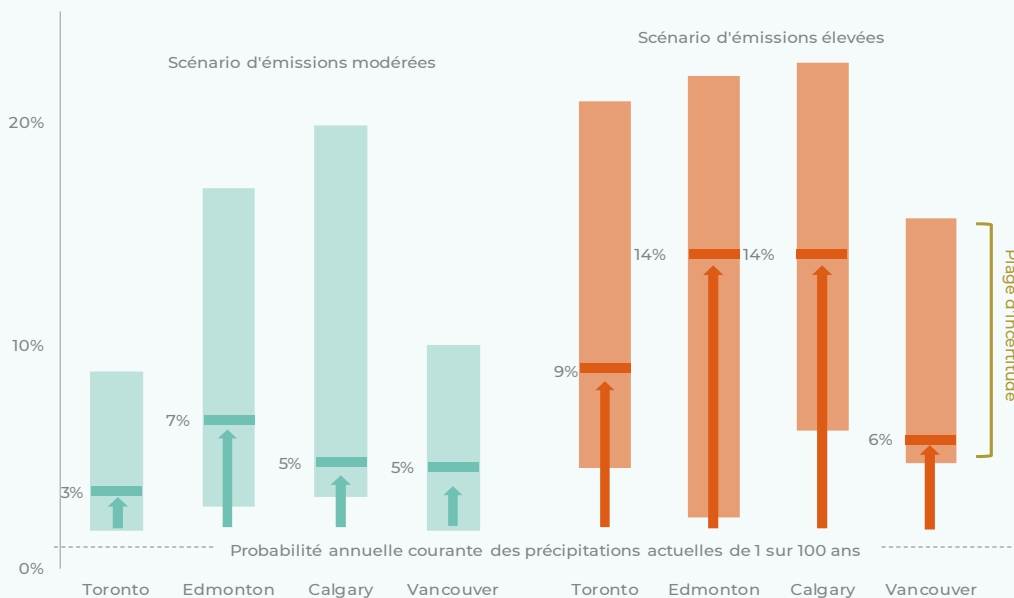
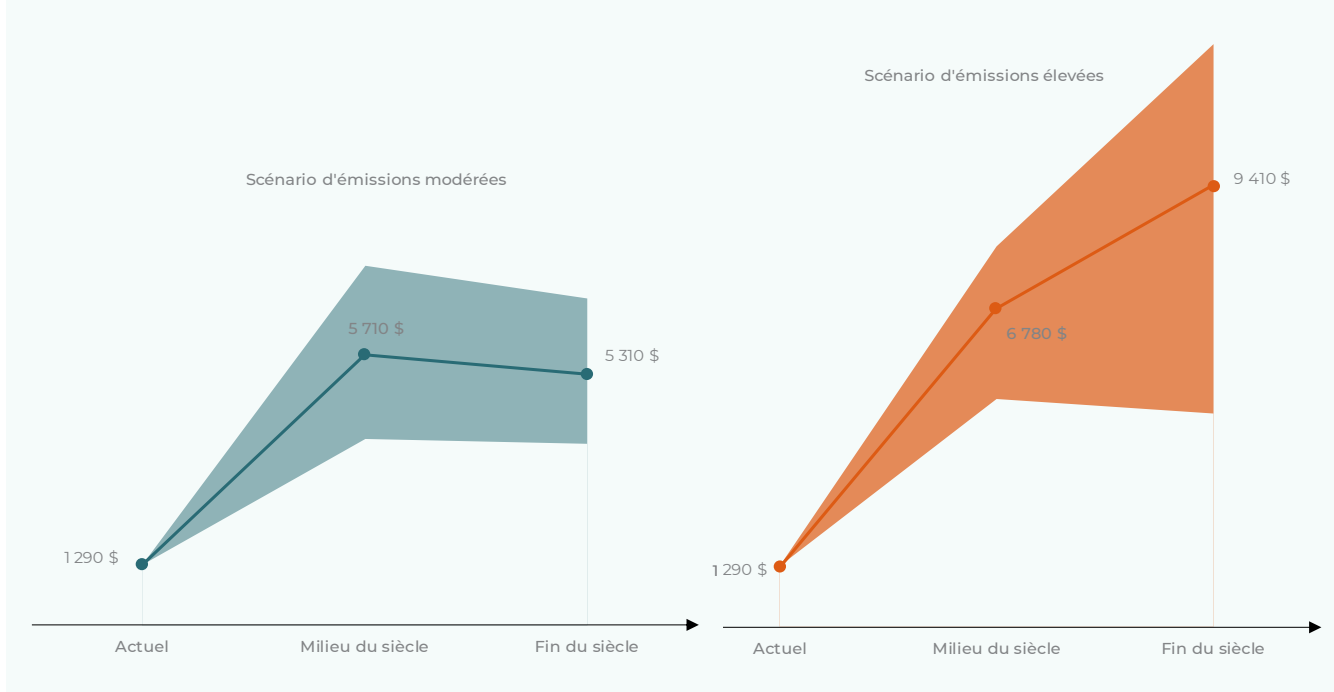


Figure 4.3

Des dommages causés par les inondations intérieures jusqu'à cinq fois plus importants d'ici le milieu du siècle

Projection des coûts annuels des inondations intérieures au Canada en millions de dollars (CA de 2019)



Fermer les yeux sur les risques d'inondation menace les investissements immobiliers dans les grandes villes

Si des centaines de milliers de résidences et de bâtiments au Canada risquent d'être inondés, la majeure partie des risques physiques et économiques se concentre dans certains des plus grands centres urbains du pays. La région de Vancouver, en Colombie-Britannique, est l'un des epicentres des risques de submersions côtières. Dans la région métropolitaine de Vancouver, des résidences et bâtiments d'une valeur de 30 milliards de dollars se situent à moins d'un mètre du niveau de la mer actuel, et des résidences et bâtiments d'une valeur de 77 milliards de dollars se situent à moins de deux mètres. Selon nos analyses, les coûts actuels de la submersion côtière dans la région de Vancouver sont en d'environ 30 millions de dollars par

année. D'ici la fin du siècle, les dommages pourraient atteindre jusqu'à 510 millions de dollars par année selon le scénario d'émissions modérées et jusqu'à 820 millions de dollars par année selon le scénario d'émissions élevées. De plus, notre analyse montre que selon le scénario d'émissions élevées, le nombre de bâtiments touchés par les submersions côtières dans la région pourrait passer de 44 000 à 75 000 d'ici la fin du siècle et les dommages annuels moyens de chaque propriété touchée pourraient augmenter substantiellement, passant de 600 dollars à près de 4 400 dollars par année (tableau 4.1).

Beaucoup d'autres grandes villes du Canada courent déjà de grands risques d'inondation intérieure, car un grand nombre de leurs résidences et de leurs bâtiments est exposé aux inondations fluviales et pluviales. Notre analyse montre que Toronto, Winnipeg, Calgary, Mississauga, Edmonton et Ottawa sont les grands centres urbains courant le plus haut risque d'inondations actuelles et futures. Selon notre estimation médiane, le coût annuel des dommages causés par les inondations dans ces villes

Tableau 4.1

Plus de résidences à risque de submersion côtière en raison des changements climatiques

Province	Référence	Nombre de maisons à risque d'onde de tempête			
		Émissions modérées		Émissions élevées	
		Milieu du siècle	Fin du siècle	Milieu du siècle	Fin du siècle
Colombie-Britannique	45891	57780	65628	59151	69738
Nouveau-Brunswick	25332	27698	29016	28048	30186
Nouvelle-Écosse	12406	14609	15583	14894	16387
Île-du-Prince-Édouard	5068	6235	6903	6420	7482
Québec	6489	46004	47510	46836	50255

pourrait être de 3 à 10 fois plus élevé d'ici la fin du siècle, et de l'augmentation se produirait en grande partie d'ici le milieu du siècle (figure 4.2). À Toronto, par exemple, les dommages moyens causés par les inondations aux plus de 145 000 résidences à risque passeraient d'environ 700 dollars à près de 4 000 dollars par année.

Comme ces villes abritent les marchés immobiliers les plus chers du Canada, leurs actifs sont peut-être surestimés. Ainsi, non seulement les propriétés risquent-elles de voir plonger leur valeur en deçà de celle de l'hypothèque, mais elles risquent aussi d'être plongées sous l'eau. Des études aux États-Unis ont montré que les risques d'inondation ne se reflètent généralement pas dans les prix des maisons, ce qui signifie que les résidences qui risquent d'être endommagées par les inondations se vendent au même prix que celles qui ne sont pas à risque – même si les cartes détaillées des zones inondables produites par le gouvernement identifient clairement les propriétés en zone inondable. Ce phénomène entraîne une surévaluation des résidences et des propriétés immobilières à risque d'inondation, incite les vendeurs à éviter de divulguer ces risques lors des transactions immobilières et provoque une absence de signaux de prix qui feraient cesser les investissements en zone inondable (Hino et Burke, 2021). Comme les cartes des zones inondables canadiennes produites par les gouvernements sont nettement moins exhaustives et à jour que celles des États-Unis (section 4.4), il est probable que les propriétés en zone inondable de notre côté de la frontière soient au

moins autant surévaluées. Dans les marchés immobiliers affichant une forte croissance comme ceux de Vancouver et de Toronto, cela signifie que les acheteurs – des propriétaires résidentiels aux investisseurs immobiliers commerciaux – paient probablement trop cher des résidences et des bâtiments dont la valeur chutera à mesure que les risques d'inondation se matérialiseront.

Les risques d'inondation en milieu urbain ne se limitent pas aux résidences et aux bâtiments existants – les villes continuent d'approuver de nouveaux aménagements dans des secteurs inondables connus. Par exemple, 10 % des permis approuvés pour la construction de bâtiments à Vancouver entre 2017 et 2020 – d'une valeur de 1 milliard de dollars – visaient une plaine inondable à récurrence de 100 ans connue (Clark et Coffman, 2020). Compte tenu du fait que les cartes des zones inondables produites par les gouvernements ne couvrent pas de nombreux secteurs à risque d'inondation, surtout pluviale, il est probable que les aménagements en zone inondable approuvés dans les régions urbaines du Canada dépassent les chiffres officiels.

Que ce soit en raison de la mise à jour des cartes des zones inondables publiques, de la volonté des assureurs, des banques et des investisseurs institutionnels de comprendre l'exposition aux risques d'inondation, ou de catastrophes répétées qui feraient de certains secteurs et quartiers des zones inondables connues, l'ampleur des risques d'inondation du parc immobilier de grande valeur

Tableau 4.2

Les résidences à risque d'inondation intérieure seront plus souvent endommagées

Dommages causés par les inondations, millions de dollars (dollars canadiens de 2019)							
RMR	Province	Ménages sur des plaines inondables	Point de référence	Milieu du siècle, émissions modérées	Milieu du siècle, émissions élevées	Fin du siècle, émissions modérées	Fin du siècle, émissions élevées
Toronto	Ontario	146 798	\$99	\$557	\$592	\$548	\$566
Winnipeg	Manitoba	250 918	\$54	\$285	\$239	\$259	\$325
Calgary	Alberta	105 441	\$37	\$193	\$195	\$193	\$234
Mississauga	Ontario	38 341	\$24	\$162	\$166	\$157	\$165
Edmonton	Alberta	108 171	\$35	\$131	\$108	\$129	\$144
Ottawa	Ontario	75 514	\$44	\$114	\$92	\$109	\$114

finira par être connue. Le résultat exact de cette prise de conscience est imprévisible, mais les économistes et les autorités de réglementation aux États-Unis ont déjà signalé une forte probabilité de corrections boursières régionales dans certains États en raison des changements climatiques (Keys et Mulder, 2020). Les assureurs continueront vraisemblablement d'augmenter leurs taux ou n'offriront plus de couverture (Moorcraft, 2020), les gouvernements pourraient cesser leur soutien financier en cas de catastrophe si ces dernières se multiplient (CBC, 2019) et les propriétaires rendus responsables pourraient se retrouver dans l'impossibilité d'éponger les coûts – cette fois-ci entièrement de leur poche – de la reconstruction. La valeur des propriétés dans les zones touchées pourrait diminuer, ce qui ferait perdre une bonne part de leur patrimoine aux propriétaires de résidences et d'entreprises, laissant les banques et les autres prêteurs avec des prêts et des hypothèques non remboursés. À une assez grande échelle, ce phénomène pourrait avoir des répercussions sur les dépenses de consommation, les prêts et le crédit, et la productivité et la croissance économique nationales.

Une mauvaise compréhension des risques d'inondation limite l'adaptation

Le Canada manque de renseignements sur les risques d'inondation. Contrairement à d'autres pays comme les États-Unis, il n'a pas de programme fédéral de cartographie des dangers et des risques d'inondation à l'échelle nationale. Les provinces et les territoires établissent leurs propres normes pour cartographier les inondations, et la couverture, l'âge et la qualité des cartes varient considérablement au sein de ces divisions du pays et entre elles. Selon une étude sur la cartographie des zones inondables menée par le gouvernement fédéral en 2014, les risques d'inondation guettant jusqu'à un tiers des ménages au Canada étaient inconnus (MMM Group Limited, 2014). L'âge médian des cartes des plaines inondables des zones couvertes est de 18 ans, ce qui signifie que la plupart d'entre elles ne tiennent pas compte de l'état actuel du climat et du développement immobilier.

En outre, presque toutes les cartes de zones inondables au Canada ne donnent que des renseignements partiels sur les risques d'inondation. Elles présentent l'exposition plutôt que la vulnérabilité, soit les zones inondables de manière générale, et non le niveau ou le débit d'eau possible, ni les dommages ou les dangers pour la vie et la sécurité qu'une inondation pourrait causer.

Les cartes des zones inondables produites par les gouvernements, lorsqu'il y en a, se limitent presque toujours aux inondations le long des côtes (submersions côtières) et des cours d'eau (inondations fluviales). Elles couvrent rarement, voire jamais, les inondations pluviales, ces crues soudaines dans les rues et les égouts en milieu urbain qui peuvent causer d'importants dégâts. Selon notre analyse, environ 20 % des dommages causés par des inondations au pays seraient attribuables à des inondations pluviales. À titre indicatif, près de l'entièreté des pertes assurées de 1 milliard de dollars associées aux

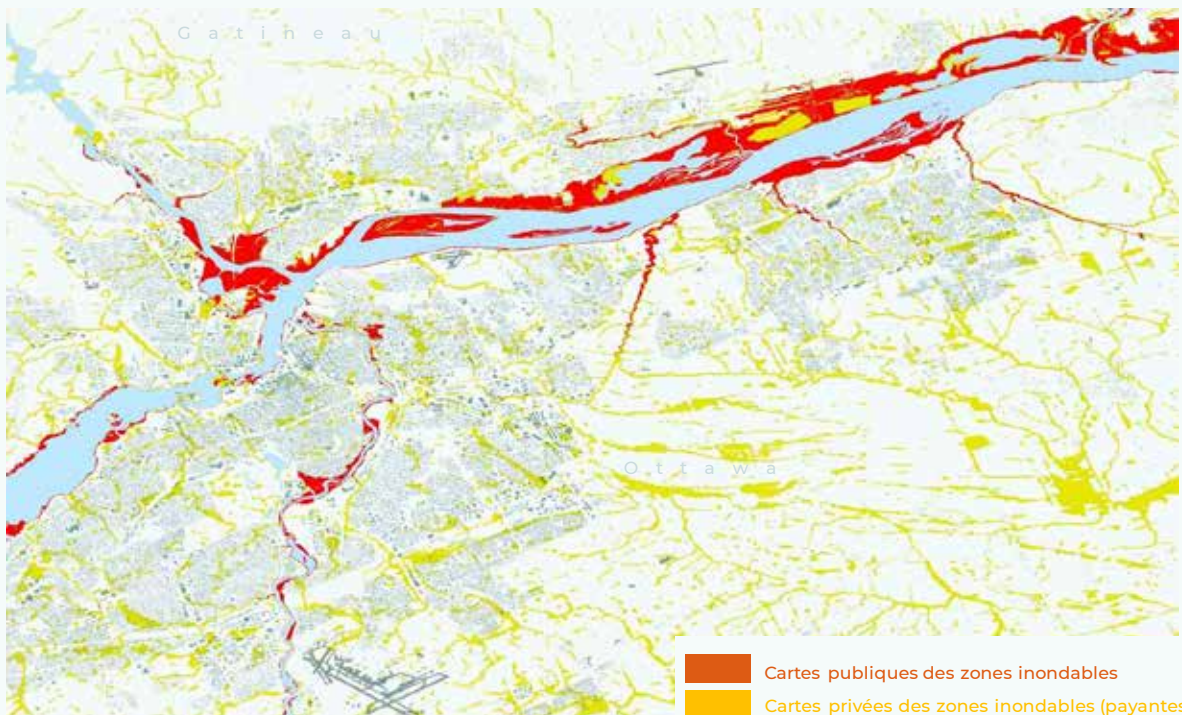
inondations de juillet 2013 à Toronto découlaient de ce type d'inondations (Mills, 2013).

Notre analyse, à l'aide des données d'analytique des risques de JBA, montre qu'environ 650 000 bâtiments au Canada sont actuellement à risque d'inondation fluviale et qu'environ 325 000 bâtiments sont à risque d'inondation pluviale pour une catastrophe à récurrence de 100 ans ou moins. Si près d'un tiers des bâtiments à risque d'inondation fluviale ne sont pas cartographiés et que ceux à risque d'inondation pluviale ne le sont pas du tout, comme l'étude menée en 2014 par le gouvernement fédéral laisse croire, les propriétaires de quelque 540 000 bâtiments au Canada n'ont aucun moyen de savoir si leur propriété risque d'être inondée. La figure 4.4 illustre cette lacune à Ottawa, à Hull et à Gatineau; elle montre les bâtiments situés dans la plaine inondable à récurrence de 100 ans selon les cartes gouvernementales des zones inondables, et fait ressortir

Figure 4.4

Le risque est grandement sous-estimé dans les cartes publiques des zones inondables

Risque d'inondation de récurrence de 100 ans dans la région de la capitale nationale



Source: Les informations privées sur les risques d'inondation ont été fournies par JBA Risk Management Limited. Les données publiques sur les crues ont été fournies par l'Office de protection de la nature de la vallée du Mississippi et l'Office de protection de la nature de la vallée Rideau. Copyright JBA Gestion des risques.

les bâtiments supplémentaires qui, d'après les données de JBA, courent un risque à récurrence de 100 ans, ou un risque plus élevé, d'inondations fluviales et pluviales. Même lorsqu'il existe des cartes des zones inondables, de gros obstacles se dressent devant les propriétaires désireux de connaître leur risque d'inondation. En 2016, un sondage mené auprès de 2 300 propriétaires au Canada vivant en zones considérées comme à haut risque dans les cartes des zones inondables montrait que seulement 6 % d'entre eux savaient que leur résidence se trouvait en zone inondable (Henstra et Thistlethwaite, 2018). Les cartes établies par les gouvernements sont souvent difficiles à obtenir et rarement intégrées aux portails de données ouvertes. Dans certains cas, les organismes responsables – comme certains offices de protection de la nature en Ontario – vendent leurs cartes détaillées des plaines inondables, malgré le fait qu'elles aient été élaborées avec des fonds publics. Les données sur les risques d'inondation préparées par des entreprises privées, comme les cartes de JBA utilisée dans le cadre de notre étude, sont trop coûteuses pour la majorité des gens, ou même des petites municipalités. Et ces ensembles de données privés ne fournissent généralement pas assez de détails aux propriétaires de résidences ou d'autres bâtiments pour leur permettre de saisir l'ampleur ou la gravité des risques d'inondation que court leur propriété.

La lacune la plus importante de toutes est sans doute que la plupart de ces cartes, mis à part une poignée de travaux expérimentaux (RNCAN, 2018a), n'intègrent pas les changements climatiques. Elles reflètent les risques basés sur le climat du passé, et non le climat qui sera influencé par le réchauffement climatique. Ainsi, même si les cartes des zones inondables du Canada étaient complètes et à jour, elles ne saisiraient pas l'évolution actuelle des risques d'inondation liée à un climat changeant.

Les lacunes en matière de renseignements sur les risques d'inondation au Canada limitent notre compréhension de la nécessité et de la teneur des mesures à prendre pour limiter les risques d'inondation actuels et à venir. L'absence de cartes des zones inondables ou leur inaccessibilité empêchent les individus et les communautés de protéger leur propriété. Elles limitent aussi la prise en compte

des risques d'inondation actuels et à venir dans les transactions immobilières. Les assureurs et les prêteurs hypothécaires pourraient eux aussi ne pas connaître les risques courus par bon nombre des propriétés qu'ils prennent en charge – et ainsi les transmettre à des réassureurs, aux gouvernements et aux contribuables. Les municipalités pourraient sans le savoir permettre de nouveaux aménagements dans des zones à risque. Et les gouvernements eux-mêmes ignorent à quel point le risque croissant d'inondation qui pèse sur les résidences et les bâtiments pourrait être prévenu ou réduit par l'adaptation.

Le retrait stratégique pour les inondations intérieures

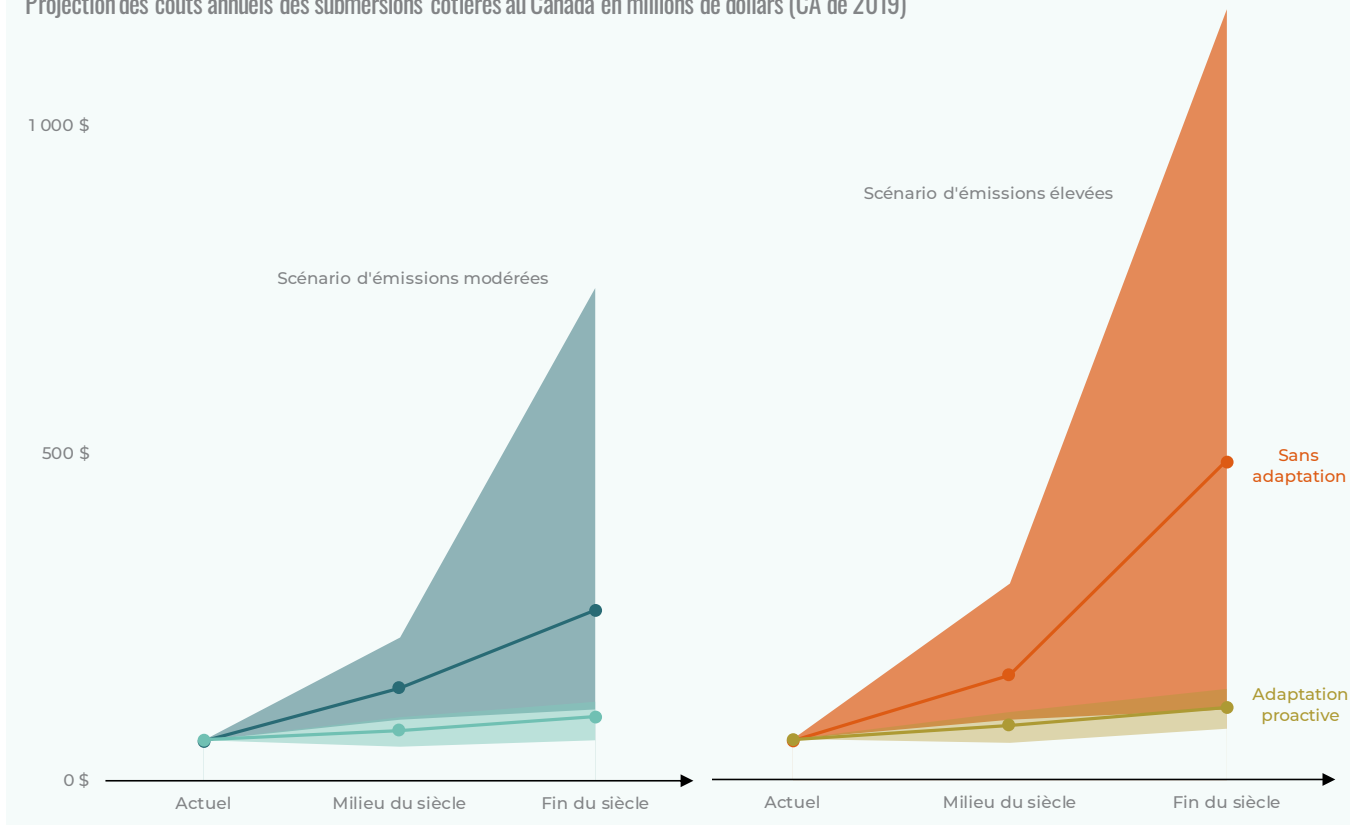
Nous avons utilisé les méthodes élaborées dans le cadre du modèle national pour les propriétés côtières des États-Unis pour évaluer les avantages potentiels des mesures d'adaptation proactives aux submersions côtières (Lorie et coll., 2020). Notre analyse visait à déterminer laquelle des trois options d'adaptation – ouvrages longitudinaux, élévation des bâtiments à risque et rechargement des plages – présentait le meilleur rapport coût-efficacité pour chaque segment des côtes canadiennes à l'étude, selon la valeur foncière et le potentiel d'exposition aux inondations. Ensuite, nous avons réappliqué le modèle d'évaluation des dommages et des répercussions des submersions côtières pour déterminer les avantages nets des mesures d'adaptation proactives, en tenant compte du coût initial de ces mesures et des coûts évités pour les dommages qu'auraient autrement causés les inondations dans les 30 prochaines années.

Les résultats (figure 4.5) indiquent qu'il serait possible de réduire les coûts relatifs aux submersions côtières de 45 % à 60 % d'ici le milieu du siècle, selon le scénario d'émissions. D'ici la fin du siècle, cette réduction pourrait être de 45 % à 75 %, même en tenant compte des coûts nécessaires pour construire des ouvrages longitudinaux, élever les bâtiments à risque et ajouter des roches ou du sable pour protéger les côtes. Mais avant tout, on constate qu'une combinaison de mesures d'adaptation proactives réduit radicalement les risques de subir les

Figure 4.5

Les mesures d'adaptation pourraient faire fondre les coûts associés aux submersions côtières

Projection des coûts annuels des submersions côtières au Canada en millions de dollars (CA de 2019)



pires dommages, dans un scénario où le niveau de la mer serait à son plus haut.

Par exemple, sans mesures d'adaptation, les coûts annuels estimés en Colombie-Britannique et pour l'ensemble du pays d'ici la fin du siècle pourraient grimper jusqu'à 820 millions de dollars et 1,2 milliards de dollars respectivement, selon un scénario d'émissions élevées. Les mesures d'adaptation peuvent réduire de 60 millions de dollars par année les coûts associés au pire scénario en Colombie-Britannique et de 120 millions de dollars au Canada, soit une baisse d'environ 90 %. Donc, même s'il faut investir massivement pour construire et entretenir les infrastructures de protection côtière, une analyse globale démontre que le jeu en vaudrait la chandelle.

Par contre, il faut noter que nous n'avons étudié que les trois mesures de protection contre les submersions côtières les plus populaires. Beaucoup d'autres pourraient être pertinentes dans certaines situations, comme la

restauration des milieux humides côtiers, et procurer des bénéfices similaires ou supérieurs. Par ailleurs, nous n'avons analysé que les avantages économiques directs des dommages et pertes évités, mais il y en a d'autres qui sont plus difficiles à quantifier, comme la création d'aires d'agrément publiques et la restauration des habitats fauniques (Chausson et coll., 2020; ACT, 2020).

Le retrait stratégique pour les inondations intérieures comporte des avantages et des inconvénients

Pour examiner les mesures d'adaptation aux inondations intérieures, nous avons modélisé les conséquences possibles du retrait stratégique, soit la relocalisation intentionnelle des personnes et des propriétés hors des zones inondables. Habituellement, le retrait stratégique implique qu'une instance

gouvernementale achète les bâtiments et propriétés à risque, pour ensuite les démolir et retourner les plaines inondables à leur état naturel ou les convertir en utilisations moins risquées, comme des parcs.

Il faut toutefois préciser que le retrait stratégique n'est pas la seule option pour réduire les risques d'inondation intérieure. Il est aussi possible de protéger les bâtiments à risque avec des structures de défense à grande échelle, comme des barrages, des digues ou des infrastructures naturelles. Dans certains cas, les propriétaires résidentiels et commerciaux peuvent, avec le soutien des gouvernements, prendre eux-mêmes des mesures, notamment pour réduire les risques d'inondation pluviale. Or, comme le bien-fondé, l'efficacité et le coût de ces mesures dépendent grandement des caractéristiques des résidences, des quartiers et du secteur à risque, nous n'avons pas pu en estimer les coûts et les bénéfices à l'échelle nationale.

L'analyse du retrait stratégique comme mesure pour réduire les risques d'inondation intérieure illustre bien à quel point des mesures d'adaptation proactives peuvent contribuer à réduire les coûts. Elle donne aussi une idée de l'efficacité du retrait stratégique, que le gouvernement fédéral pense intégrer à sa stratégie de gestion à long terme des propriétés à haut risque (Sécurité publique Canada, 2020).

En examinant différents scénarios dans le cadre desquels les gouvernements achèteraient les propriétés à haut

risque au prix du marché pour imposer un retrait stratégique, nous pouvons conclure que les bénéfices seraient considérables dans la plupart des cas. Par exemple, dans le cas d'un rachat de 10 % des propriétés comprises dans la tranche du 1 % des secteurs les plus à risque d'inondation au pays, les dommages annuels causés par les inondations intérieures devraient diminuer d'environ 2,2 % en moyenne à l'échelle du pays d'ici la fin du siècle, tant selon un scénario d'émissions modérées que d'émissions élevées. Les économies annuelles seraient donc de 120 et de 200 millions de dollars respectivement (tableau 4.3). L'achat de ces quelque 7 500 propriétés au prix du marché nécessiterait un investissement de près de 1,9 milliard de dollars, mais la valeur actualisée nette de l'investissement serait de près de 1,9 milliard de dollars selon le scénario d'émissions élevées, et de 540 millions de dollars, selon celui d'émissions modérées : un bénéfice économique net considérable dans les deux cas.

Par contre, les bénéfices fondent rapidement si on étend les expropriations aux quartiers à risque modéré. Le retrait stratégique pour les quartiers compris dans la tranche des 2 % des secteurs les plus à risque – plutôt que celle du 1 % mentionnée précédemment – entraîne un bénéfice économique net pour le scénario d'émissions élevées, mais un déficit pour celui des émissions modérées. En outre, le bénéfice net disparaît rapidement par la suite dans les deux scénarios.

Nos résultats indiquent que le retrait stratégique

Tableau 4.3

Le retrait stratégique offre des avantages, qui s'effritent toutefois

Valeur en millions de dollars (dollars canadiens de 2019)

Centile de risque du quartier	Coût de rachat	Dommages évités annuellement		Valeur nette actuelle	
		Émissions modérées	Émissions élevées	Émissions modérées	Émissions élevées
1 % supérieur	1 900	120	200	500	1 900
2 % supérieur	4 200	180	290	-600	1 500
5 % supérieur	10 500	270	440	-5 400	-1 900
10 % supérieur	22 600	350	580	-15 800	-11 300

est une solution particulièrement efficace pour les propriétés à haut risque. Toutefois, cette option n'a pas à confirmer une valeur actualisée nette positive au terme d'une analyse coûts-avantages pour être considérée comme étant viable. Il suffit qu'elle offre un avantage économique supérieur à d'autres types de mesures d'adaptation qui seraient initialement beaucoup plus coûteuses, comme la construction d'un barrage, d'une digue ou d'une infrastructure de dérivation des eaux. En outre, le retrait stratégique serait bien plus avantageux que d'autres moyens de défense structureux puisqu'il s'agit d'une solution permanente qui n'exige pas de gestion ni d'entretien subséquents. N'oublions pas : les dommages causés par les inondations entraînent d'autres coûts, notamment en raison des interventions d'urgence et des répercussions à long terme sur la santé physique et mentale des personnes touchées, et le retrait stratégique offre divers avantages associés à la conversion de terrains inondables en aires naturelles ou publiques (French et coll., 2019).

En revanche, la relocalisation des familles et des quartiers a aussi des conséquences à long terme sur le bien-être individuel et collectif qu'une analyse coûts-avantages classique ne relèvera pas. C'est pourquoi une réflexion sérieuse sur les implications en matière d'équité et un processus rigoureux de consultation sont nécessaires avant d'opter pour cette mesure, puisque les peuples autochtones, les communautés racisées et les résidents de quartiers défavorisés à risque d'inondation sont souvent touchés de façon disproportionnée par les programmes de retrait stratégique et en subissent longtemps les conséquences sur le plan social (Siders,

2018). La co-création de plans de retrait stratégique avec les titulaires de droit autochtones est particulièrement importante au Canada, vu son long historique de colonisation, d'expulsions et de relocalisations forcées. Les peuples autochtones ont souvent été expulsés de secteurs très valorisés ou à faible risque, puis réinstallés dans des secteurs plus exposés aux inondations ou à divers autres risques climatiques. Cette co-création est aussi nécessaire pour veiller à reconnaître les terres et ressources appartenant aux Autochtones, ainsi que les droits issus des traités. Par conséquent, les plans de retrait stratégique devront prendre en compte des considérations sociétales intangibles au même titre que les considérations quantifiables, comme les coûts et les bénéfices économiques et le rendement au fil du temps, pour déterminer les mesures d'adaptation les plus appropriées.

Par ailleurs, notre analyse du retrait stratégique révèle que les mesures d'adaptation aux inondations intérieures posent un défi d'une plus grande ampleur. En effet, s'il est possible de gérer efficacement les mesures d'adaptation aux submersions côtières dans la petite proportion de côtes canadiennes où se concentrent les risques, les inondations intérieures menacent un bien plus grand nombre de propriétés au pays. Pour ces dernières, il faut combiner le retrait stratégique, les grands projets d'infrastructures, les mesures prises par les propriétaires et les programmes d'aide financière, comme de nouveaux produits d'assurance, conçus spécialement pour et par les quartiers et collectivités touchés d'un bout à l'autre du pays.





5 RÉPERCUSSIONS SUR LES ROUTES ET LES VOIES FERRÉES

Les routes et les voies ferrées sont essentielles à la société et à l'économie canadiennes. Partout au pays, tout est prétexte à les emprunter : obtenir des soins de santé, faire son épicerie, se rendre au travail ou à l'école, voyager par affaires ou pour le plaisir et voir ses amis, ses collègues ou sa famille. Les entreprises et l'économie dépendent aussi de ces réseaux de transport pour acheminer efficacement les biens et services partout au pays. En 2018, quelque 750 millions de tonnes de marchandises ont été transportées par camion au Canada, et 330 millions de tonnes, par train, ces derniers transportant environ 175 milliards de dollars en biens d'exportation (Statistique Canada, 2021c). En 2017, la valeur totale des marchandises transportées sur les routes canadiennes dépassait les 2,2 billions de dollars (Statistique Canada, 2017).

Or, dans les prochaines décennies, le climat de plus en plus chaud et instable mettra à mal ces voies de circulation et réduira leur fiabilité et le niveau de service. Notre analyse des routes se concentre sur les répercussions de l'augmentation de la température et des précipitations, et des variations dans le cycle de gel et de dégel sur la chaussée, qui pourraient les

endommager et les détériorer prématurément. Celle des voies ferrées s'attarde plutôt aux répercussions de l'augmentation de la température en été, qui peut mener à une dilatation ou une déformation des rails, forçant les opérateurs à ralentir ou à s'arrêter pour éviter un déraillement.

Les routes et les voies ferrées sont exposées à d'autres grands risques climatiques – comme les inondations susceptibles d'emporter routes, voies ferrées, ponts et ponceaux –, mais nous les avons exclus de notre analyse. Les inondations de 2013 en Alberta ont détruit 1 000 kilomètres de routes et emporté des centaines de ponts et ponceaux (Conseil des académies canadiennes, 2019; Palko et Lemmen, 2017). Les pluies intenses peuvent aussi provoquer des glissements de terrain qui bloquent des routes et des voies ferrées, comme en 2019, quand la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN) avait dû retarder ou annuler le transport des marchandises sur le tronçon Edmonton-Jasper, l'un des plus achalandés de son réseau (CN, 2020). Par ailleurs, les forts vents, les importantes précipitations et le verglas peuvent endommager les feux de circulation et rendre les

déplacements dangereux (Palko et Lemmen, 2017). Même une hausse de l'humidité relative et des concentrations de carbone dans l'atmosphère peut augmenter le risque de détérioration des ponts (Nasr et coll., 2019). Or, il n'est pas possible actuellement de modéliser et d'estimer de manière fiable le coût de ces répercussions. À l'instar de l'analyse des répercussions sur les résidences, les bâtiments et les infrastructures électriques, l'analyse dont il est question ici situe les résultats dans la fourchette inférieure des répercussions et coûts possibles.

La hausse des dommages causés aux routes et aux voies ferrées risque aussi de faire augmenter considérablement les coûts d'entretien. Par exemple, l'entretien des 2,8 millions de kilomètres de routes au Canada coûte déjà aux gouvernements fédéral, provinciaux, territoriaux et autochtones, et aux municipalités quelque 20 milliards de dollars par année (Statistique Canada, 2021a); par conséquent, même une hausse modeste des dommages et de la dégradation peut faire exploser les coûts.

La fréquence accrue des fermetures et les retards attribuables aux dommages et aux travaux de réparation auront une incidence négative sur la fiabilité des réseaux routier et ferroviaire, et, par conséquent, des répercussions sur la vie et le gagne-pain des personnes qui en dépendent, et sur l'économie. Le mauvais état des routes coûte déjà trois milliards de dollars par année aux conducteurs canadiens en frais d'utilisation d'un véhicule (Association canadienne des automobilistes, 2021), et la congestion dans la région du Grand Toronto et d'Hamilton coûte à elle seule jusqu'à 11 milliards de dollars par année en perte de temps et d'occasions d'affaires (Dachis, 2013). Selon certaines études réalisées aux États-Unis, les retards attribuables au climat dans les transports routier et ferroviaire pourraient coûter de 25 à 60 milliards de dollars au 21^e siècle (Chinowsky et coll., 2019; Neumann, *en cours d'examen*).

Approche de modélisation pour les routes et les voies ferrées

Pour estimer les répercussions du climat sur les routes et les voies ferrées de même que les coûts qu'elles entraînent, nous avons utilisé l'Infrastructure Planning Support System (système de soutien à la planification des infrastructures), un outil utilisé partout dans le monde pour analyser les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures, notamment dans le cadre des évaluations nationales du climat de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (Resilient Analytics, 2021). À partir de cartes détaillées des réseaux routier et ferroviaire du Canada, conçues selon les données de DMTI Spatial et Ressources naturelles Canada (DMTI-Lightbox, 2020; Boehlert, 2021), et des projections climatiques de sept modèles climatiques, nous avons utilisé le système de soutien à la planification des infrastructures pour analyser les répercussions matérielles et les coûts associés des principaux dangers climatiques pour les routes et voies ferrées du pays (tableau 5.1). Comme il est mentionné à la section 3, nous avons présumé, aux fins de l'analyse, que le type de routes et leur longueur resteraient les mêmes d'ici la fin du siècle.

Dans le cas des routes revêtues, l'augmentation des températures – notamment l'été – risque de faire plus fréquemment grimper le mercure au-delà de la limite établie pour les liants d'asphalte, ce qui favorisera la formation d'ornières alors que le vieillissement prématuré de la chaussée : cette fragilisation du revêtement risque de l'amener à se fissurer plus facilement. Le mauvais état des routes imposera une augmentation de la fréquence des opérations de réasphaltage. L'augmentation des précipitations peut aussi favoriser la formation d'ornières, alors que les variations dans le cycle de gel et de dégel peuvent favoriser des mouvements sous la surface et un gonflement créant des bosses et des nids-de-poule. Dans le cas des routes non revêtues, c'est l'augmentation des précipitations qui est l'un des principaux enjeux, puisqu'elles peuvent provoquer l'érosion et compliquer les déplacements, voire les rendre impossibles.

Tableau 5.1

Dommages et coûts attribuables au climat et scénarios d'adaptation possibles pour les infrastructures routières et ferroviaires

Type d'infrastructure	Stresseur	Sources des dommages	Conséquences de l'absence d'adaptation	Scénario d'adaptation proactive
Routes revêtues	Température	Dégradation de la surface et irrégularités causées par les fissures et la formation d'ornières découlant de l'augmentation des températures	Augmentation des coûts d'entretien et de réparation pour préserver le niveau de service et retards	Modifier les matériaux bitumineux afin d'y intégrer un liant adapté à la température.
	Précipitations	Érosion de la couche et de la sous-couche de base causée par l'infiltration, augmentation des fissures		Modifier le liant et le scellant et accroître la profondeur de la couche de fond.
	Cycles de gel et de dégel	Dégradation de la couche de base provoquée par les mouvements du sol et augmentation des dommages sur la surface en raison des mouvements et du tassage		Modifier la conception de la surface de la chaussée afin d'accroître sa densité et de réduire l'infiltration.
Routes non revêtues	Précipitations	Érosion et formation d'ornières sur la surface	Augmentation des coûts d'entretien et de réparation pour préserver le niveau de service et retards	Accroître la profondeur de la couche de fond afin de renforcer et d'améliorer le drainage des routes non revêtues.
Voies ferrées	Température	Expansion et flambage de la voie lors d'épisodes de chaleur accablante	Augmentation des coûts de réparation, émission d'ordonnances de vitesse et retards généralisés	Installer des capteurs de température sur les voies pour cibler les ordonnances de vitesse

Le coût total des dommages causés aux routes et aux voies ferrées ne se limite pas aux coûts de réparation et de remplacement. Il comprend aussi ceux liés à la baisse du niveau de service. Les travaux de réparation et de reconstruction entraînent des embouteillages et des goulots d'étranglement qui ralentissent les déplacements et nuisent à la circulation des personnes, des ressources et des marchandises. Quand les températures montent en flèche, les risques de flambage des voies ferrées et de déraillement de train sont tels que les exploitants ferroviaires réduisent habituellement la vitesse maximale de leurs trains ou interrompent carrément les déplacements : le trafic ferroviaire en général et les volumes de transport de marchandises s'en trouvent grandement réduits. Ces retards, qui font déjà perdre

aux entreprises et à l'économie en général des centaines de millions de dollars par année (Johnson, 2018), risquent de se multiplier en raison des changements climatiques.

Au moyen de méthodes élaborées aux États-Unis, nous avons examiné les coûts de retard découlant du mauvais état des routes, de l'augmentation des temps de déplacement et du retard dans le transport des marchandises causés par le ralentissement des déplacements (Boehlert et coll., 2021). Nous avons calculé les coûts de retard pour les passagers en fonction de la valeur d'un gain de temps, et le coût des retards dans le transport des marchandises pour les expéditeurs et les camionneurs (Boehlert et coll., 2021; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). Les retards auront aussi des répercussions sur les entreprises et sur

la productivité économique, notamment en raison des interruptions dans la chaîne d'approvisionnement, dont les coûts risquent d'excéder considérablement les coûts directs assumés par les expéditeurs. Cependant, nous n'avons pas les outils et les données nécessaires pour estimer ces coûts supplémentaires.

Pour calculer le coût des retards associés aux ordonnances prescrivant la vitesse maximale des trains, nous avons utilisé le système de soutien à la planification des infrastructures afin de modéliser les baisses de vitesse qu'un nombre accru d'ordonnances attribuables à la chaleur entraînerait pour le réseau ferroviaire canadien. Nous avons ensuite estimé le coût des retards pour le transport de marchandises et de passagers en fonction des niveaux actuels de trafic ferroviaire. Les coûts pour le transport de passagers comprennent les répercussions sur les voyages d'agrément et d'affaires, alors que ceux pour le transport de marchandises comprennent les coûts de retard attribuables aux ordonnances de réduction de la vitesse pour les propriétaires et les exploitants ferroviaires (Boehlert et coll., 2021; Chinowsky et coll., 2019). Là aussi, nous n'avons pas pu modéliser les coûts pour d'autres entreprises et secteurs dont la chaîne d'approvisionnement dépend du transport ferroviaire. Ces coûts dépasseraient sans doute considérablement ceux assumés par les exploitants ferroviaires.

Les routes construites selon les normes actuelles poseront un risque dans l'avenir

Au Canada, la plus précieuse infrastructure publique demeure le réseau routier : ses quelque 2,8 millions de kilomètres de routes et autoroutes ont une valeur totale de 142 milliards de dollars (Statistique Canada, 2020a). Vu leur durée de vie relativement courte, les routes nécessitent chaque année un budget d'entretien et de remplacement considérable de tous les ordres de gouvernement, au même titre que les ponts, ponceaux et autres infrastructures connexes. De 2016 à 2020, les coûts d'exploitation et d'immobilisations du réseau national ont requis un investissement moyen de 16,6 milliards de dollars par année par les gouvernements fédéral, provinciaux, territoriaux et autochtones, et les municipalités (Statistique Canada, 2020a).

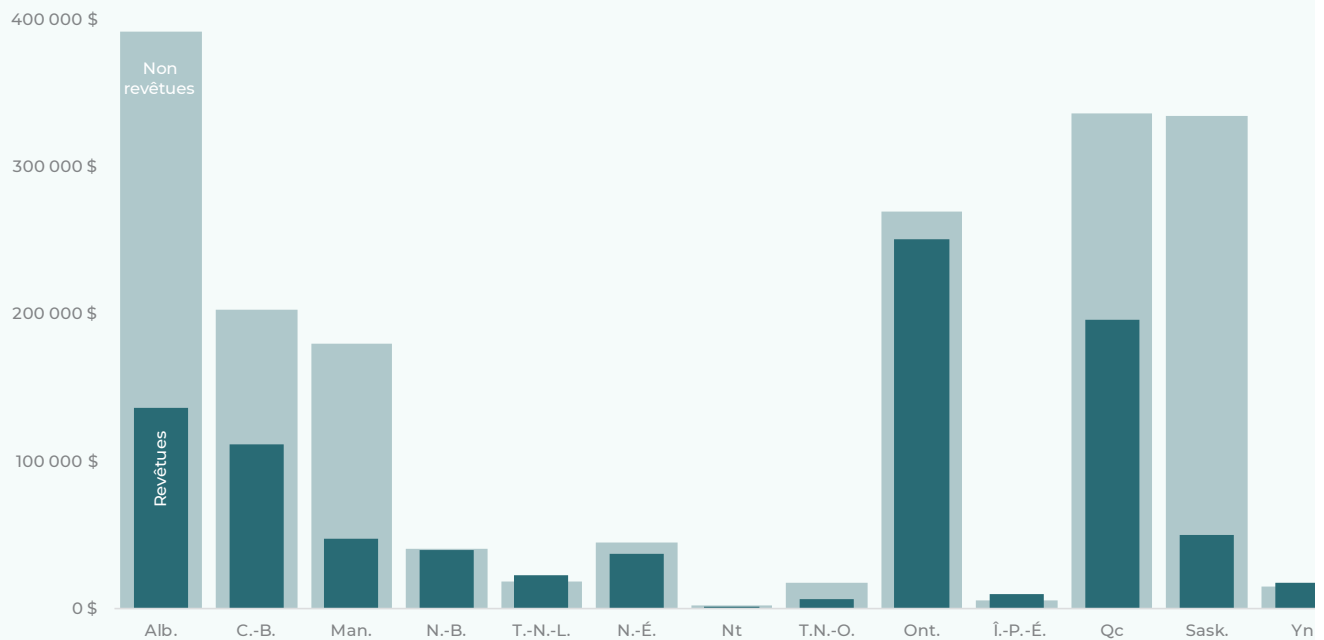
Notre analyse indique que l'augmentation des températures et des précipitations au Canada accélérera la détérioration et l'usure des routes. D'après notre estimation médiane, les coûts annuels de réparation et de remplacement selon un scénario d'émissions modérées seront de 2,3 milliards de dollars d'ici le milieu du siècle, et de 3,1 milliards de dollars d'ici la fin. Le même



Figure 5.1

Le Canada compte des millions de kilomètres de routes revêtues et non revêtues

Nombre de kilomètres de voies au Canada



exercice, mais selon un scénario d'émissions élevées, indique des chiffres beaucoup plus importants, soit 3,4 et 7,7 milliards de dollars par année, respectivement (figure 5.2). À noter que la brochette de coûts possibles d'ici la fin du siècle grimpe dans le scénario d'émissions élevées : les estimations des modèles climatiques qui présentent le réchauffement le plus marqué pour le Canada font état de coûts frôlant les 12,6 milliards de dollars annuellement.

Les dommages causés aux routes par les températures accrues et les épisodes de chaleur extrême sont de loin les répercussions des changements climatiques les plus coûteuses modélisées dans notre analyse. Selon les scénarios que nous avons modélisés, ils comptent pour 87 % de tous les types de dommages causés aux routes par le climat au Canada, le reste étant essentiellement attribuable à l'augmentation des précipitations. Nos résultats indiquent que si les dommages découlant des cycles de gel et de dégel tendent à diminuer dans plusieurs régions en raison du réchauffement

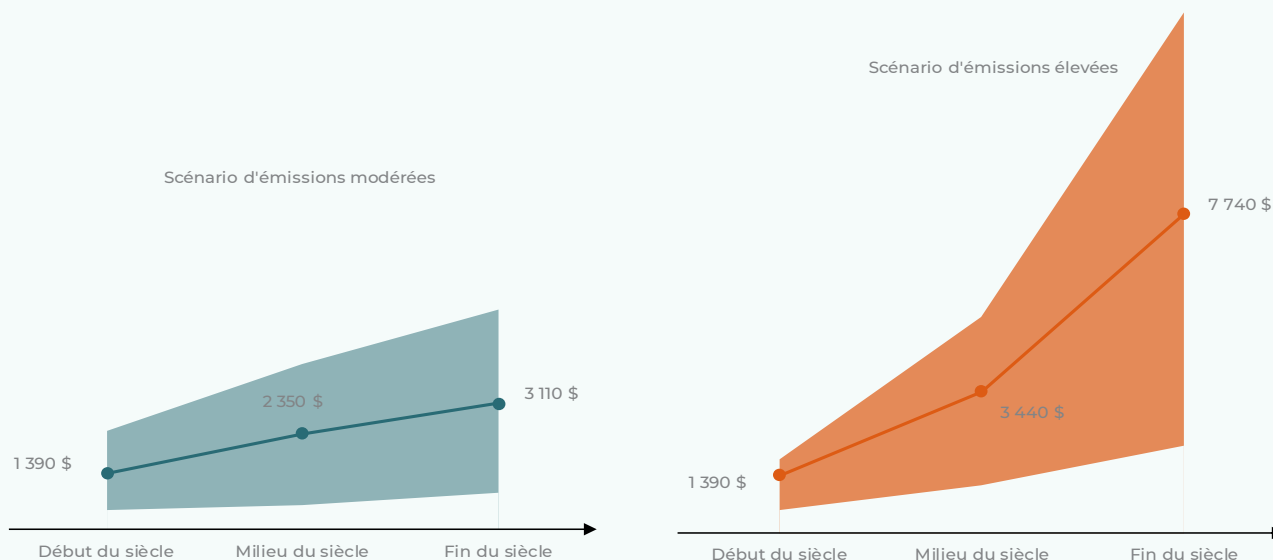
des températures, les économies réalisées sont loin de compenser les coûts de réfection attribuables à l'augmentation des températures et des précipitations.

Par ailleurs, le fardeau financier pèse principalement sur les provinces disposant des réseaux routiers les plus imposants au pays : l'Alberta, le Québec et l'Ontario (figure 5.3). Dès le milieu du siècle, elles devront dépenser des centaines de millions de dollars supplémentaires pour entretenir leurs routes et réparer les dommages causés par les changements climatiques, même selon un scénario d'émissions modérées. Pour évaluer les coûts par rapport à la taille du réseau routier, il faut cependant tenir compte du nombre de routes revêtues et non revêtues qu'il contient, puisqu'il est plus coûteux de construire et d'entretenir des routes revêtues. Par exemple, comme la proportion de routes revêtues par rapport aux routes non revêtues est la plus élevée à l'Île-du-Prince-Édouard, parmi toutes les provinces et tous les territoires, cette province enregistre des coûts élevés relativement à la taille de son réseau (Statistique Canada, 2018).

Figure 5.2

Les changements climatiques font augmenter les coûts de réparation et de remplacement des routes

Projection des coûts annuels des routes endommagées au Canada en millions de dollars (CA de 2019)



En moyenne, les répercussions attribuables aux changements climatiques pourraient entraîner une hausse des coûts d'exploitation et d'immobilisations habituels du réseau routier – qui incombent presque exclusivement aux gouvernements provinciaux ou territoriaux et aux municipalités – de plus de 30 % d'ici la fin du siècle dans bien des régions, selon un scénario d'émissions élevées (figure 5.3). La hausse relative variera d'une région à l'autre, en fonction de l'historique d'investissement dans les infrastructures routières de chaque province et territoire, et des répercussions découlant de la hausse de températures. À l'Île-du-Prince-Édouard, les coûts pourraient presque doubler, ce qui illustre à quel point les répercussions des changements climatiques pourraient rapidement gruger les fonds nécessaires pour moderniser les infrastructures et résoudre les déficits d'infrastructures.

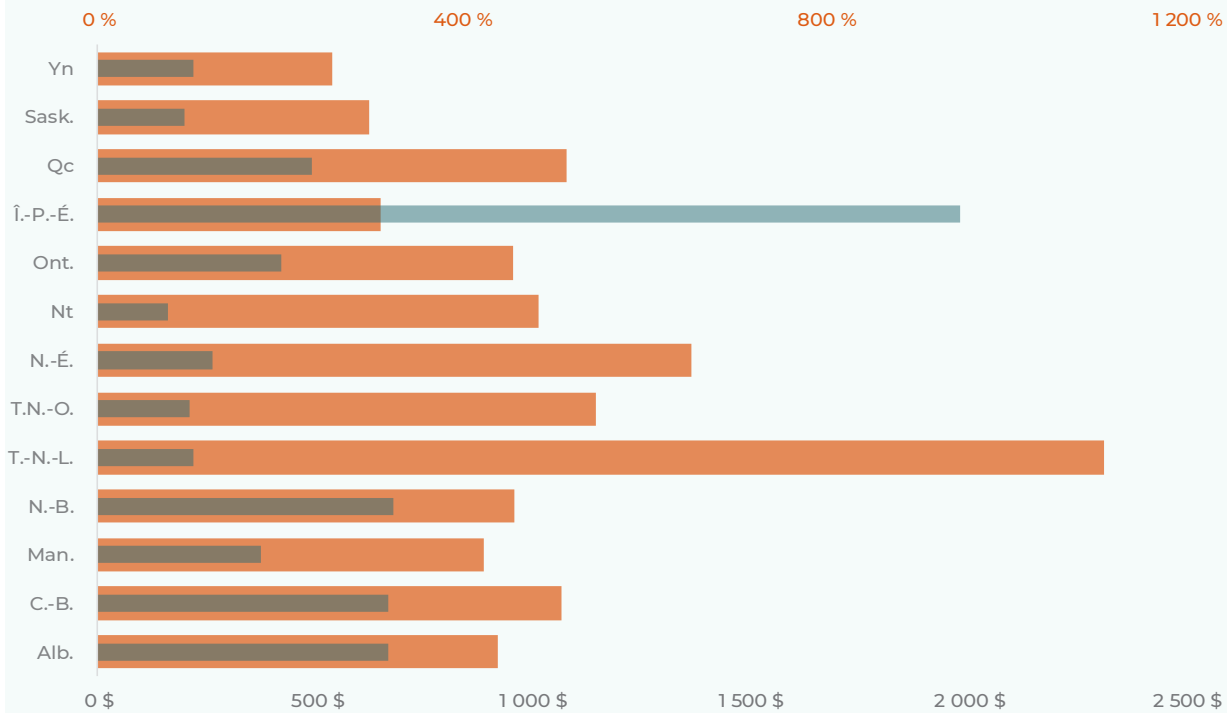
Les dommages causés aux infrastructures routières et ferroviaires entraînent des retards coûteux

Selon notre analyse, le coût des retards et des perturbations du transport sur les réseaux routier et ferroviaire risque de frôler celui des dommages directs aux infrastructures. Pour les voies ferrées, notre analyse indique que le coût des dommages est plutôt bas, soit de 1 à 180 millions de dollars par année, selon la période couverte et le scénario d'émissions utilisé (figure 5.4). Même dans le pire cas, selon un scénario d'émissions élevées d'ici la fin du siècle, le coût demeure relativement modeste, représentant moins de 1 % des coûts d'exploitation combinés du Canadien Pacifique

Figure 5.3

Le coût des dommages aux routes augmentera le plus là où il y a un plus grand nombre de routes revêtues

Projection des coûts annuels des dommages aux routes par kilomètre de voie en millions de dollars (CA de 2019), et pourcentage de changement d'ici la fin du siècle selon un scénario d'émissions élevées



et du Canadien National en 2019 (CN, 2021; CP, 2021). Or, il est important de noter qu'il ne s'agit que des coûts de réparation des flambages sur différents tronçons; comme nous l'avons déjà mentionné, les changements climatiques pourraient causer d'autres types de dommages importants au réseau ferroviaire.

Selon nos estimations, les coûts de retard de premier plan associés au flambage des voies et aux limitations de vitesse ou ordonnances d'arrêt pourraient représenter à eux seuls au moins 10 fois ceux découlant de dommages matériels. Ces coûts augmentent radicalement avec les années pour atteindre la valeur médiane d'un milliard de dollars par année selon un scénario d'émissions élevées d'ici la fin du siècle (figure 5.5).

Nous estimons que les coûts de retard pour les déplacements routiers seront à peu près du même ordre que ceux pour les déplacements ferroviaires, soit de centaines de millions de dollars à plus de 1 milliard

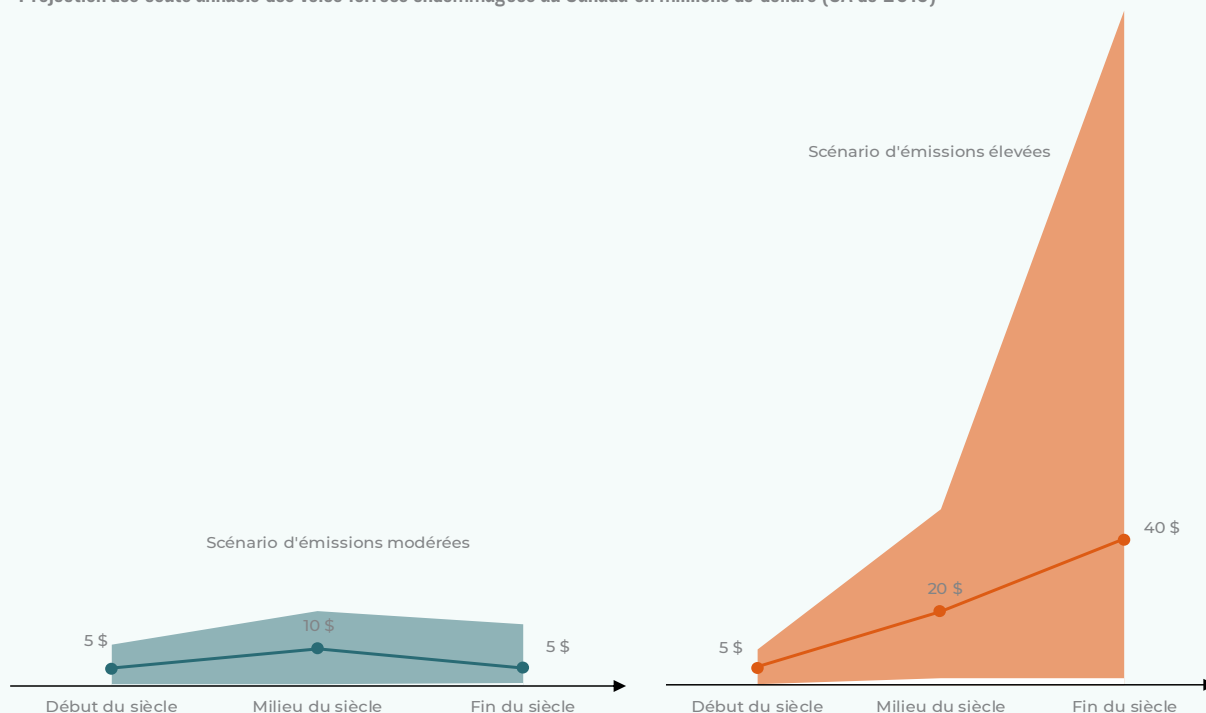
par année. Comme pour les voies ferrées, nous prévoyons une augmentation de ces coûts au fil des ans, particulièrement selon un scénario d'émissions élevées, bien qu'ils demeurent assez élevés même selon un scénario d'émissions modérées. Selon nos estimations, les coûts de retard sont généralement inférieurs pour le réseau ferroviaire que pour le réseau routier, sauf selon le scénario d'émissions élevées d'ici la fin du siècle, signe de la fragilité potentielle du secteur ferroviaire aux écarts de température au-delà de certains seuils.

Pris ensemble, les coûts de retard pour les réseaux routier et ferroviaire seront à peu près répartis entre les régions du Canada en fonction de la population et de l'activité économique. Les coûts de retard considérables en Ontario reflètent la taille de sa population et de son réseau routier, ainsi que son imposant trafic ferroviaire. Le Québec, la Colombie-Britannique et l'Alberta ont des coûts similaires proportionnellement à leur population. En outre, nous

Figure 5.4

La chaleur fait augmenter le coût des dommages aux voies ferrées

Projection des coûts annuels des voies ferrées endommagées au Canada en millions de dollars (CA de 2019)



estimons que les coûts de retard en Saskatchewan s'approcheront, malgré sa plus faible population, de ceux de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, vu le volume de trafic de marchandises par voie ferrée dans la province.

Des milliards de dollars d'économies découlant de l'adaptation proactive des routes et voies ferrées

Des trois types d'infrastructures analysées dans le présent rapport, ce sont probablement les réseaux routier et ferroviaire qui offrent les possibilités d'adaptation les plus simples et avec le meilleur rapport coût-efficacité. Pour les routes, nous avons envisagé différentes mesures proactives pouvant être intégrées aux cycles d'entretien et de remplacement actuels pour accroître la résilience aux changements climatiques à venir :

1. Modifier les matériaux bitumineux afin d'y intégrer des substances adaptées à la hausse attendue des températures en été;

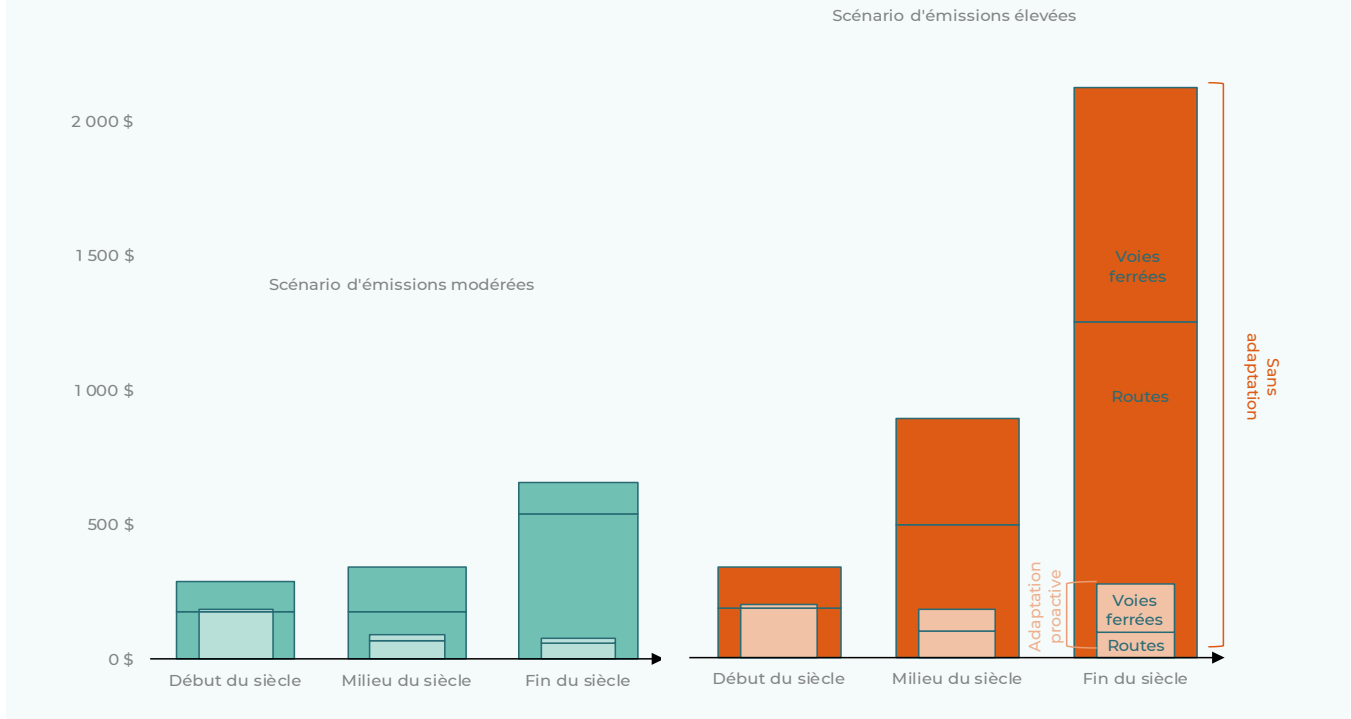
2. Modifier les matériaux bitumineux et les scellements afin de mieux faire face aux hausses de précipitation, et accroître la profondeur de la couche de fond pour améliorer le drainage;
3. Modifier la conception de la surface de la chaussée afin d'accroître sa densité et de réduire l'infiltration, vu la hausse prévue de la fréquence des épisodes de gel et dégel;
4. Accroître la profondeur de la couche de fond des routes non revêtues afin de les renforcer et d'améliorer le drainage.

Selon notre analyse, même en tenant compte des coûts initiaux, ces mesures proactives pourraient réduire les coûts nets de réparation et de remplacement des routes attribuables aux changements climatiques de 77 % à 84 % d'ici le milieu du siècle, et de 90 % à 98 % d'ici la fin, selon le scénario d'émissions (figure 5.6). Ces réductions correspondent à nos estimations centrale selon certains modèles climatiques, ces bénéfiques pourraient être encore plus grands, voire offrir des économies nettes.

Figure 5.5

Les retards alourdissent les coûts (déjà élevés) des dommages, mais peuvent être limités par l'adaptation

Projection des coûts annuels des retards sur les routes et les voies ferrées au Canada en millions de dollars (CA de 2019)



Donc, non seulement des mesures d'adaptation proactives neutraliseraient la hausse de coûts découlant des changements climatiques, mais elles pourraient aussi réduire les coûts d'entretien et de réparation dans l'avenir. Ce qui est sûr, c'est que d'ici la fin du siècle, les cycles de gel et de dégel seront moins dommageables en raison des changements climatiques à peu près partout au pays. Par conséquent, si des mesures proactives permettent de gérer les répercussions liées à l'augmentation de la température et des précipitations, une baisse des dommages attribuables aux cycles de gel et dégel pourrait faire baisser les dommages liés au climat sur le réseau routier canadien et donc les coûts d'exploitation et d'entretien.

Nous estimons aussi que la baisse des dommages causés aux routes et des travaux de réparation et de remplacement entraînera une diminution considérable des coûts de retard. Selon notre analyse, ces coûts seraient grandement réduits par la viabilité accrue des

routes attribuables aux mesures d'adaptation proactives, le scénario le plus avantageux (baisse annuelle nette des coûts de 92 %) étant celui des émissions élevées d'ici la fin du siècle, bien que le scénario d'émissions modérées d'ici le milieu du siècle présente des avantages notables (baisse de 62 %) (figure 5.5).

En ce qui a trait à l'adaptation des voies ferrées, nous avons réalisé notre analyse avec le système de soutien à la planification des infrastructures afin de modéliser les avantages d'installer des capteurs pour relever la température des rails, et permettre aux exploitants ferroviaires de mettre en place une approche ciblée en fonction des risques pour publier leurs ordonnances de vitesse. Grâce à cette technologie – une mesure d'adaptation envisagée dans différentes régions du monde pour contrer les répercussions du réchauffement climatique (Chinowsky et coll., 2019) –, les exploitants ferroviaires peuvent émettre une ordonnance de vitesse ciblée pour différents tronçons en fonction de

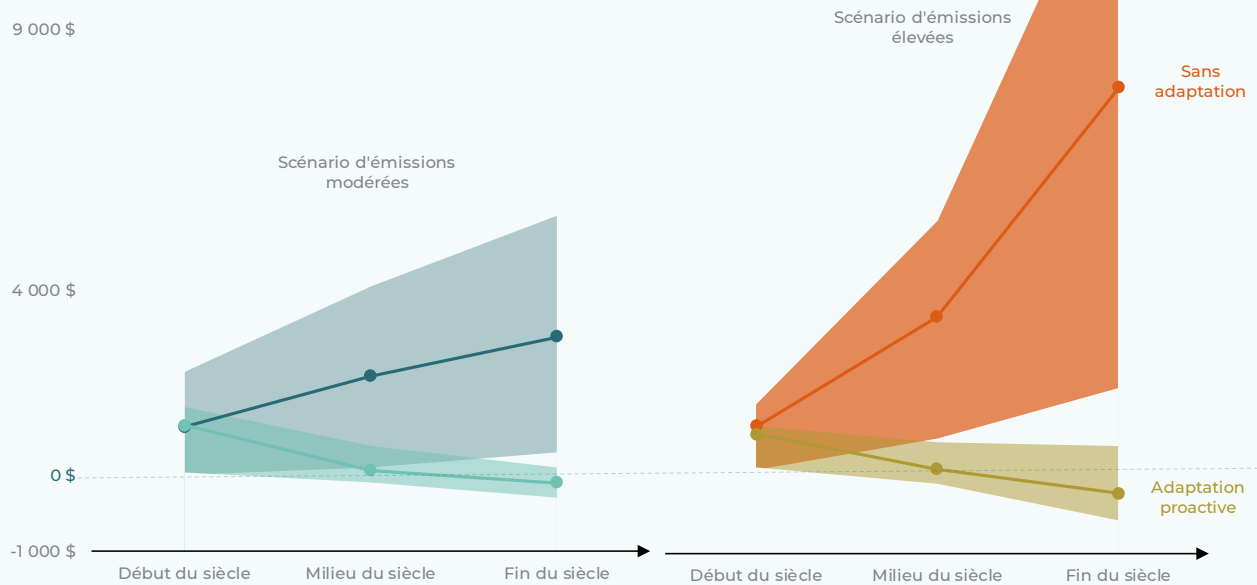
la température plutôt que de viser l'ensemble des voies d'une région, ce qui entraîne des retards supplémentaires. Nous avons recalculé les coûts de retard en tenant compte

de ces ordonnances ciblées, et estimons que la mesure pourrait entraîner une réduction médiane de 80 % d'ici la fin du siècle, selon un scénario d'émissions élevées.

Figure 5.6

Des mesures d'adaptation proactives réduiront les coûts de réparation et de remplacement des routes

Projection des coûts annuels des routes endommagées au Canada par scénario en millions de dollars (CA de 2019)





6 RÉPERCUSSIONS SUR LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

Les réseaux électriques font partie intégrante du quotidien et de l'activité économique au Canada. Un réseau électrique fonctionnel et fiable ne fait pas qu'alimenter les résidences et les bâtiments, mais est indispensable pour à peu près tous les services essentiels fournis aux personnes, aux collectivités et aux entreprises : hôpitaux, systèmes de traitement des eaux, épiceries, aéroports, systèmes de télécommunication et bien plus. Au Canada, la filière électrique injecte annuellement 34 milliards de dollars dans l'économie, grâce à ses exportations vers les États-Unis (AIE, 2020; Statistique Canada, 2020d). Lors d'une panne, aussi brève soit-elle, la production est interrompue, les employés doivent cesser leurs activités, certaines données sont perdues et les exportations d'électricité sont compromises. De plus, les infrastructures électriques du Canada – dont la valeur est estimée à plus de 235 milliards de dollars – peuvent nécessiter des travaux de réparation ou de remplacement coûteux en raison des dommages (Statistique Canada, 2021a).

Les changements climatiques nuiront tant à la quantité d'électricité produite pour les ménages et les entreprises du pays qu'à la fiabilité du réseau. Dans notre analyse, nous nous attardons à deux répercussions. Tout d'abord

l'accélération de la détérioration du réseau de distribution d'électricité et la perte de sa fonctionnalité attribuables à l'augmentation des températures et des précipitations, et les coûts découlant de la fréquence accrue des travaux de réparation et de remplacement. Ensuite, nous analysons les changements dans la demande en électricité au Canada attribuables au réchauffement du climat, réduisant la demande aux fins du chauffage en hiver, mais augmentant la charge durant les mois d'été, considérant la pression que les chaleurs sans précédent imposent aux résidents et aux entreprises de recourir à la climatisation (Navius Research, 2020).

Les changements climatiques auront beaucoup plus de répercussions sur les réseaux et infrastructures électriques que celles ciblées dans le présent rapport; celles-ci perturberont le quotidien des gens et les activités commerciales au Canada et entraîneront des coûts considérables que nous ne pouvons modéliser. Les réseaux électriques sont vulnérables aux vents violents et aux tempêtes de verglas, des dangers appelés à devenir plus fréquents au Canada en raison des changements climatiques (Dowling, 2013; gouvernement de la Colombie-Britannique, 2019). L'un de ces épisodes les plus catastrophiques au pays est

sans contredit la tempête de verglas de 1998, dans le nord-est du Canada, durant laquelle des lignes de transport à haute tension se sont effondrées et des transformateurs électriques ont été endommagés, plongeant dans le noir pendant des semaines près de la moitié de la population du Québec et une partie de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick. Les dommages et les perturbations économiques se sont chiffrés à plus de cinq milliards de dollars et ont plombé le PIB de 0,2 % (Lecomte et coll., 1998). Par ailleurs, en 2018, les tornades d'Ottawa ont privé d'électricité plus de 300 000 résidents (Crawford, 2018). Or, si la science croit que les tempêtes de verglas et les vents violents seront plus fréquents et plus intenses en raison des changements climatiques, il n'est actuellement pas possible de dégager cette tendance avec précision à l'aide des modèles climatiques mondiaux (Fant et coll., 2020; Klima et Morgan, 2015).

Les changements dans les modèles de précipitations attribuables aux changements climatiques auront une incidence sur le débit des rivières, ce qui perturbera l'offre d'hydroélectricité, qui compte pour plus de 60 % de l'électricité produite au Canada (RNCAN, 2021). Or, pour simuler les effets de ces changements sur la production d'hydroélectricité au pays, il faudrait des modèles complexes des bassins fluviaux et des centrales électriques, mais il n'en existe aucun dans le domaine public. En outre, les nouveaux modèles de précipitations et de fonte des neiges découlant des changements climatiques qui augmenteront la fréquence et la gravité des inondations risquent aussi de nuire aux réseaux électriques. Le Canada a déjà subi certaines de ces répercussions : pensons entre autres aux crues soudaines de 2013 à Toronto, qui ont submergé l'un des deux principaux postes électriques de la ville, causant des pannes prolongées chez plus de 70 000 résidents (Küfeoğlu et coll., 2014).

Notre analyse se concentre sur les coûts de réparation et de remplacement des infrastructures endommagées, qui seront considérables vu l'envergure et l'étendue des infrastructures électriques au Canada. De tels dommages, et les pannes qu'ils entraîneront, auront aussi des répercussions économiques importantes sur les entreprises et la productivité, mais nous n'avons pu les chiffrer. Selon les estimations, le coût actuel des pannes au Canada – découlant en majorité des conditions météorologiques – serait d'environ 12 milliards de dollars annuellement, dont plus de 8 millions sont associés à des pannes de courte durée (McMullen, 2018). Si le nombre et la durée des pannes augmentent en raison des changements climatiques, les coûts supplémentaires pourraient être considérables. Malheureusement, la science et les données nécessaires pour modéliser l'influence des changements climatiques sur les pannes électriques ne sont pas encore disponibles.

Approche de modélisation pour les infrastructures électriques

Afin d'examiner les répercussions d'une augmentation des températures et des précipitations sur les infrastructures de transport et de distribution, nous avons inventorié les lignes électriques, les transformateurs, les postes de transformation et les poteaux au Canada (tableau 6.1). Des données sur les infrastructures de transport (postes électriques et lignes de transport) sont accessibles via DMTI Spatial, mais il n'y en a aucune sur les infrastructures de distribution au Canada (transformateurs, poteaux et lignes de distribution). Pour remédier à cette lacune, nous avons utilisé des données des États-Unis : nous avons établi un lien entre le nombre d'infrastructures de distribution et la densité des populations, puis avons estimé l'emplacement et le nombre de ces infrastructures dans les différentes régions.

Tableau 6.1

Le réseau national d'infrastructures de transport et de distribution d'électricité est gigantesque

* Estimation

Province/territoire	Transformateurs des postes électriques	Lignes de transport	Transformateurs de distribution *	Lignes de distribution *	Poteaux électriques*
Alberta	542	11 300	676 000	253 000	6 418 000
Colombie-Britannique	210	13 100	586 000	135 000	5 486 000
Manitoba	356	9 900	309 000	68 000	2 604 000
Nouveau-Brunswick	138	5 500	224 000	48 000	1 721 000
Terre-Neuve-et-Labrador	80	5 900	187 000	39 000	1 338 000
Nouvelle-Écosse	246	5 100	209 000	44 000	1 562 000
Ontario	3 238	23 000	1 102 000	260 000	10 850 000
Île-du-Prince-Édouard	10	300	146 000	29 000	909 000
Québec	404	27 600	1 377 000	327 000	13 708 000
Saskatchewan	280	9 200	276 000	60 000	2 260 000
Territoires	18	1 400	141 000	28 000	858 000
TOTAL	5 522	112 000	5 230 000	1 289 000	47 713 000

Pour estimer les répercussions et les coûts des dommages que pourraient causer les changements climatiques aux infrastructures électriques, nous avons adapté un modèle utilisé dans le cadre du programme d'analyse des répercussions et des risques des changements climatiques de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (Fant et coll., 2020;

EPA, 2020). Ce modèle nous a permis d'analyser les répercussions des changements climatiques sur les composants clés de ces infrastructures, d'en déterminer le coût et d'examiner l'effet des mesures d'adaptation réactives et proactives visant à minimiser les dommages et les coûts (tableau 6.2).

Tableau 6.2

Dommages liés au climat et adaptation des infrastructures de transport et de distribution

Dommages aux composants	Description	Sans-adaptation : changements climatiques ignorés	Adaptation réactive : remplacement en fonction du climat actuel	Adaptation proactive : imaginée à l'aide de projections climatiques
Réduction de la durée de vie des transformateurs (postes et distribution)	L'augmentation de la température de l'air réduit la durée de vie des grands transformateurs électriques	Construction de transformateurs de rechange de même conception (climat historique)	Construction de transformateurs de rechange adaptés au climat récent	Construction de transformateurs de rechange adaptés aux projections climatiques (horizon de 30 ans)
Diminution de la capacité des lignes de transport et de distribution	Les températures élevées sur les lignes réduisent leur capacité de transmission.	Construction d'autres lignes de transport semblables.	Augmentation du courant admissible des lignes existantes en fonction du climat récent	Augmentation du courant admissible des lignes existantes en fonction des projections climatiques
Dégradation des poteaux de bois	L'augmentation des précipitations et des températures accélère la dégradation de la base des poteaux de bois.	Remplacement des poteaux de bois au besoin	Renforcement en acier au besoin en fonction du climat récent	Renforcement en acier au besoin en fonction des projections climatiques
Modification de la gestion de la végétation	Les changements climatiques modifient la croissance de la végétation, ce qui nécessite d'en modifier la gestion.	Exploitation et entretien accrus (sans-adaptation)	Exploitation et entretien accrus (sans-adaptation)	Exploitation et entretien accrus (sans-adaptation)

En outre, nous avons examiné comment la hausse des températures influencera la demande en électricité au Canada. Les étés se réchaufferont considérablement au pays; comme la climatisation compte déjà pour environ un tiers de la demande en électricité les jours de chaleur dans les provinces chaudes comme l'Ontario (SIERE, 2015), l'augmentation de la demande risque de créer une concurrence pour l'électricité à l'échelle nationale. Nous avons modélisé les changements dans la tendance de consommation d'électricité avec le modèle Integrated Electricity System Dispatch (IESD) de Navius Research Inc., en fonction des projections des modèles climatiques. Les résultats présentent l'estimation des changements dans la demande en électricité générale et de pointe au Canada, et les coûts pour accroître la capacité de production afin de satisfaire à la demande.

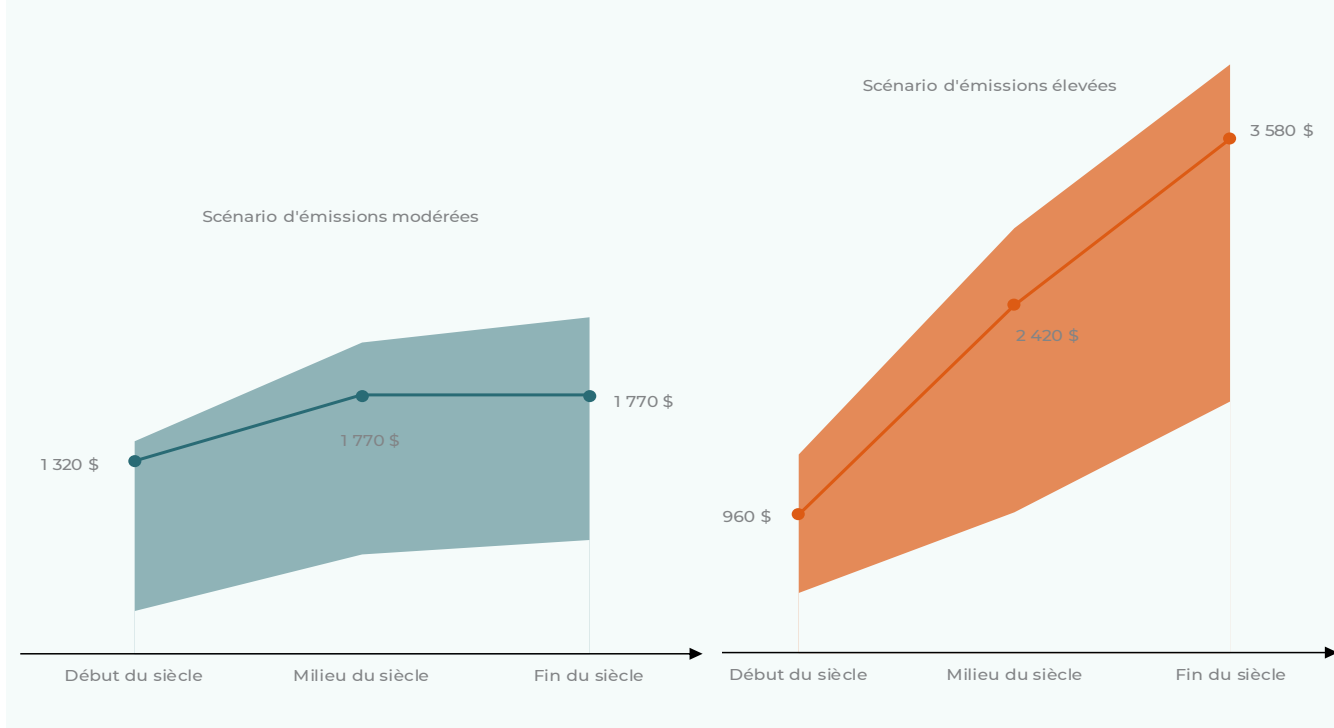
Les dommages aux infrastructures électriques attribuables au climat pourraient coûter des milliards de dollars par année

Selon nos résultats, à défaut d'adapter les infrastructures de transport et de distribution d'électricité aux futures conditions climatiques, le coût annuel médian de la hausse des dommages pour les fournisseurs sera d'environ 2,4 milliards de dollars d'ici le milieu du siècle, et d'environ 3,6 milliards d'ici la fin, selon un scénario d'émissions élevées (figure 6.1). Les coûts seraient aussi considérables selon un scénario d'émissions modérées, l'estimation médiane étant de 1,8 milliard de dollars annuellement, tant d'ici le milieu que la fin du siècle.

Figure 6.1

L'augmentation de la chaleur et des épisodes de pluie fera augmenter le coût des infrastructures électriques

Projection des coûts annuels des infrastructures de transport et de distribution en millions de dollars (CA de 2019)



Pour les cinq types d'infrastructures de transport et de distribution d'électricité que nous avons modélisées, nous prévoyons que les répercussions les plus coûteuses – environ 75 % du total – seront la défaillance prématurée des transformateurs des postes électriques et la dégradation accélérée des dizaines de millions de poteaux en bois des services publics du Canada (figure 6.2).

Les répercussions du climat varient d'une région à l'autre : les coûts en Ontario et au Québec comptent pour plus de la moitié des coûts à l'échelle nationale (tableau 6.3), ce qui s'explique par la taille de leur population et les infrastructures comprises dans l'imposant réseau hydroélectrique (production et transport) du Québec. Or, aucune région ne sera épargnée; le coût par habitant pourrait d'ailleurs être supérieur dans les provinces, régions et territoires les moins peuplés du Canada, où il faut davantage d'infrastructures pour

répondre aux besoins d'une population très dispersée. Les régions du Nord et les régions rurales et éloignées nécessitent un nombre accru de lignes, de poteaux et de transformateurs pour servir la clientèle; le coût par habitant est donc supérieur, un coût souvent ultimement assumé par les consommateurs, sous forme de tarifs élevés d'électricité.

Encore une fois, nous évacuons certains des principaux risques climatiques guettant les infrastructures électriques dans notre analyse, notamment les répercussions de la multiplication potentielle des tempêtes de verglas et des épisodes de vents violents. Lorsque des données et des outils seront accessibles pour modéliser ces répercussions, les coûts pourraient augmenter considérablement. La distribution des coûts par types d'infrastructure et par régions pourrait aussi changer.

Tableau 6.3

Les coûts sont les plus élevés là où on trouve le plus d'infrastructures électriques : en Ontario, au Québec et en Alberta

Valeurs médianes en millions de dollars (dollars canadiens de 2019)

	Scénario d'émissions modérées		Scénario d'émissions élevées	
	Milieu du siècle	Fin du siècle	Milieu du siècle	Fin du siècle
Alberta	149	189	211	361
Colombie-Britannique	107	131	152	244
Manitoba	86	90	125	179
Nouveau-Brunswick	77	73	102	130
Terre-Neuve-et-Labrador	42	37	53	68
Territoires du Nord-Ouest	12	8	20	27
Nouvelle-Écosse	56	51	72	90
Nunavut	12	8	20	27
Ontario	468	488	595	872
Île-du-Prince-Édouard	32	27	39	50
Québec	473	482	656	942
Saskatchewan	61	71	94	142
Yukon	12	8	20	27

Les répercussions sur la fiabilité du réseau, l'offre d'électricité et les coûts associés pourraient menacer la transition vers la carboneutralité

Les dommages aux infrastructures de transport et de distribution d'électricité décrits précédemment nuiront à la fiabilité du réseau électrique puisque les défaillances seront plus nombreuses, ce qui entraînera un nombre accru de pannes. Il nous était toutefois impossible d'estimer le nombre de ces pannes dans notre analyse ou le coût des interruptions des activités commerciales et des

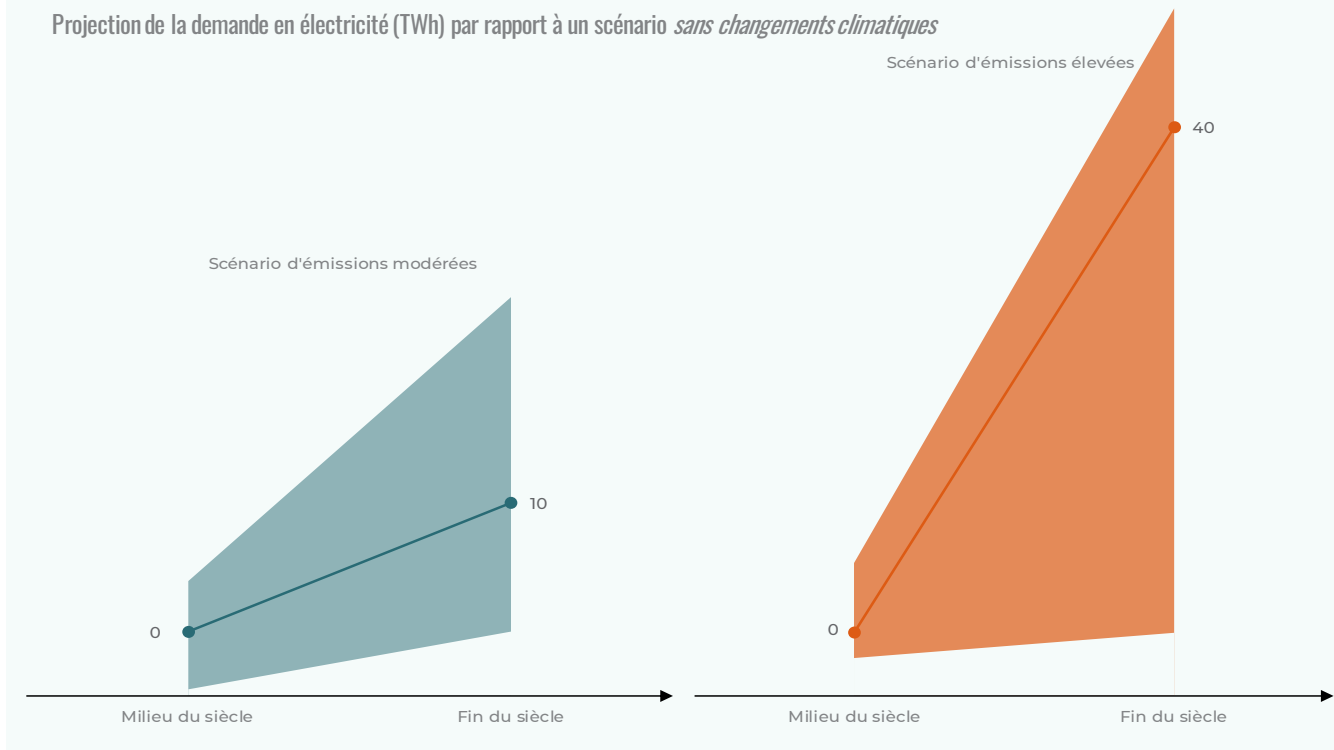
retards qu'elles provoqueraient. Par contre, il va de soi que ces coûts exploseront durant la transition carboneutre du Canada, alors que l'électricité deviendra de plus en plus essentielle afin de répondre aux besoins en matière d'énergie, de chauffage et de mobilité.

Le réchauffement climatique en lui-même fera augmenter la demande en électricité avec le temps. La hausse de températures et le besoin grandissant pour des lieux climatisés feront grimper la demande en électricité générale et de pointe dans les décennies à venir. Or, si nous prévoyons une baisse de la demande en chauffage résidentiel en hiver en raison du réchauffement, celle-ci sera compensée par l'augmentation de la demande pour des climatiseurs en été d'ici le milieu du siècle et dans les

Figure 6.2

Le réchauffement climatique fera augmenter la demande en électricité pour le chauffage et la climatisation

Projection de la demande en électricité (TWh) par rapport à un scénario *sans changements climatiques*



années subséquentes (figure 6.2). La différence entre le scénario d'émissions modérées et élevées se confirme surtout à la fin du siècle : selon un scénario d'émissions élevées, la demande nationale en électricité devrait connaître une hausse médiane de 43 % d'ici la fin du siècle par rapport à la situation actuelle, seulement en raison de l'augmentation de la climatisation.

Nos estimations de la demande de pointe présentent des hausses encore plus radicales. Elle devrait augmenter dans toutes les provinces, même en prenant en compte la hausse qu'elle aurait connue sans les changements climatiques, donc simplement en raison de la croissance économique et démographique (figure 6.5). Dans toutes les provinces, sauf en Ontario et en Saskatchewan, le pic de la demande en électricité survient durant l'hiver, surtout en raison de l'utilisation de plinthes électriques et d'autres formes de chauffage. Selon nos analyses, dans un scénario d'émissions élevées, ce pic se déplacera en

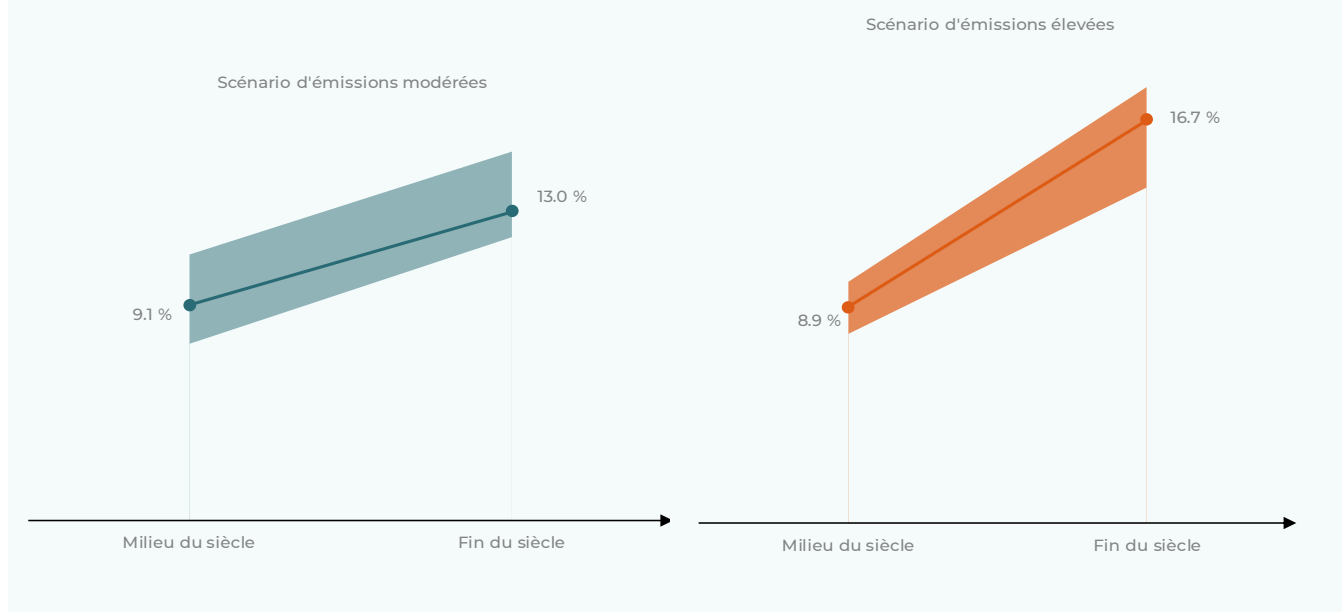
été dans la plupart des provinces d'ici le milieu du siècle, et dans la plupart des régions d'ici la fin. Le résultat sera une augmentation de la demande de pointe nationale de 9 % d'ici le milieu du siècle, et de 13 % à 17 % d'ici la fin. Sur le plan régional, la hausse la plus importante est prévue en Ontario, où la demande est à son plus fort lors de chaudes journées d'été; elle devrait atteindre 30 % d'ici le milieu du siècle, même selon un scénario d'émissions modérées.

Pour éviter le délestage électrique durant les journées caniculaires, il faudrait accroître considérablement la capacité de production d'électricité au Canada afin de répondre à la forte augmentation de la demande de pointe; des investissements supplémentaires seront donc nécessaires, au-delà de ceux requis pour s'adapter à la croissance démographique et économique. Outre le défi que cela représente, cette hausse compliquera la tâche du Canada en augmentant les dépenses

Figure 6.3

Le réchauffement du climat augmentera la demande de pointe en électricité

Projection de l'évolution de la demande de pointe en électricité par rapport à un scénario *sans changements climatiques*



requis pour électrifier l'économie dans un contexte de transition carboneutre et d'émergence de nouveaux besoins concurrents en électricité en période de pointe. Les dommages causés aux infrastructures en raison de la chaleur, ainsi que la baisse d'efficacité des infrastructures de transport et de distribution par temps chauds exacerberont encore davantage la difficulté de fournir de l'électricité de manière fiable en été, où le besoin sera le plus criant (Association canadienne de l'électricité, 2016).

Accroître la résilience des réseaux électriques du Canada contribuera à réduire les coûts

Comme beaucoup d'autres infrastructures et services essentiels dépendent de l'électricité – une dépendance qui ne fera que grandir puisque l'électricité est appelée

à être le principal type d'énergie dans un monde carboneutre –, la résilience du réseau est essentielle à un Canada solide et prospère.

Selon notre analyse, le fait d'accroître la résilience des infrastructures de transport et de distribution d'électricité en prévision des variations de la température et des précipitations pourrait réduire considérablement la fréquence et le coût des dommages qu'elles subissent tout en améliorant la fiabilité du réseau. D'ailleurs, ce type d'investissement est relativement simple et abordable. En outre, le remplacement de certains composants de ces infrastructures à la fin de leur cycle de vie par des composants et des matériaux plus résistants – ce qui représente la plupart du temps des dépenses minimales – peut éliminer de 83 % à 77 % des coûts qu'auraient entraînés les dommages d'ici la fin du siècle en l'absence de mesures d'adaptation, selon les scénarios d'émissions

modérées et élevées, respectivement. Même dans un scénario « réactif », où les composants et les matériaux sont remplacés en fonction du climat actuel, les économies pourraient être de 52 % à 66 % par rapport à une approche où les changements climatiques ne sont pas considérés (figure 6.4).

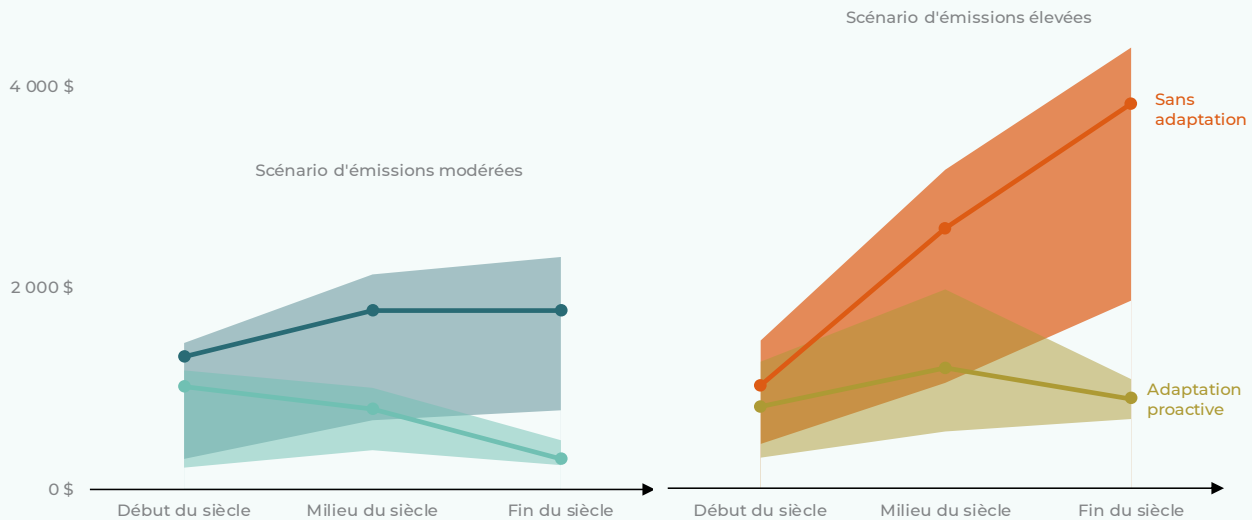
Par contre, il est important de se rappeler que notre analyse ne tient compte que des dommages aux infrastructures de transport et de distribution d'électricité causés par certains dangers climatiques, et que l'analyse coût-avantage se limite aux coûts des dommages matériels directs et aux avantages des mesures d'adaptation liés à la réduction de ces

dommages. En pratique, les mesures d'adaptation que nous avons envisagées contribueraient aussi à accroître la fiabilité du réseau, ce qui réduirait les interruptions de services essentiels – approvisionnement en eau, soins médicaux, télécommunications – dues aux pannes de courant, de même que les coûts associés aux perturbations sociales et économiques qui en découlent. Enfin, des solutions autres que celles que nous avons modélisées pourront être mises de l'avant pour adapter les réseaux électriques à d'autres risques climatiques et accroître leur résilience, ce qui aura pour effet d'améliorer leur fiabilité et de réduire les coûts directs et indirects.

Figure 6.4

L'adaptation proactive contribue grandement à réduire les coûts liés au climat des infrastructures électriques

Projection des coûts annuels des dommages aux infrastructures électriques en millions de dollars (CA de 2019)





7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Notre analyse confirme que les changements climatiques posent des risques majeurs aux infrastructures publiques et privées du Canada, des risques qui pourraient s'avérer extrêmement coûteux et menacer les services d'infrastructure essentiels à la vitalité sociale et économique. Des mesures d'adaptation proactives et judicieuses pourraient réduire radicalement, voire éliminer ces coûts et ces pertes de services, mais il n'existe encore aucune mesure incitative ou politique qui permettrait qu'elles soient mises en œuvre à l'échelle requise. Pour relever le défi que représentent les changements climatiques pour les infrastructures canadiennes, il faudra avoir une bien meilleure compréhension des risques, des recommandations techniques, des mécanismes de financement et d'investissement, des signaux de prix et des moteurs réglementaires.

CONCLUSIONS

Voici les conclusions qui découlent de nos résultats :

Au Canada, les dommages aux infrastructures et les pertes associées attribuables au climat coûteront au minimum des dizaines de milliards de dollars par année, mais sûrement beaucoup plus.

Sans mesures d'adaptation, le coût des dommages liés aux changements climatiques pour les résidences et les bâtiments, les routes, les voies ferrées et les réseaux électriques devraient atteindre des dizaines de milliards de dollars par année. La menace que posent les changements climatiques pour les infrastructures coûte déjà des milliards de dollars par année au Canada, et à défaut de mettre en place des mesures, les répercussions et les coûts continueront d'augmenter, même devant une baisse mondiale des émissions de gaz à effet de serre. Pour de nombreuses régions, les coûts atteindront un pic vers la fin du siècle, surtout si les mesures prises mondialement pour réduire les émissions dans les prochaines décennies ne sont pas à la hauteur de celles que la science juge nécessaires.

Par ailleurs, nos estimations ne représentent que les coûts minimaux que le Canada pourrait avoir à assumer. Elles sont conservatrices parce que nous n'étions pas en mesure de chiffrer certaines des conséquences directes sur les trois types d'infrastructures analysées. Par exemple, nous n'avons pas pu évaluer les répercussions de la fréquence accrue des feux incontrôlés sur les résidences et bâtiments, des tempêtes et épisodes de verglas susceptibles d'augmenter le nombre de pannes des réseaux de transport et de distribution d'électricité, et des inondations plus importantes et fréquentes touchant les routes et voies ferrées. Nous n'avons pas non plus été en mesure d'examiner les coûts directs et indirects des changements climatiques pour d'autres types d'infrastructures importantes, comme les infrastructures de télécommunication, les réseaux d'eau potable, les établissements de santé et les ports et voies maritimes. Or, l'expérience récente des catastrophes liées aux conditions météorologiques que nous n'avons pu inclure dans notre analyse – comme les feux incontrôlés de Fort McMurray en 2016, la crise du verglas de 1998 et la tempête de grêle de 2020 à Calgary – indiquent clairement que les coûts futurs de ces types de phénomènes liés au climat pourraient être d'une ampleur semblable ou supérieure à celles quantifiées dans le présent rapport.

Enfin, nous n'avons pas pu quantifier la plupart des coûts indirects découlant de la perte des services d'infrastructure pour les personnes, les entreprises et l'économie. Notre seule analyse des coûts de retard de premier ordre associés à l'interruption des services routier et ferroviaire indique que les coûts indirects des retards et des perturbations économiques pourraient égaler ou excéder ceux des dommages aux infrastructures et de leur réparation ou leur remplacement. Donc, si nos estimations donnent une bonne idée de l'ampleur des répercussions des changements climatiques sur les infrastructures canadiennes et des coûts potentiels, il n'y a aucun doute que ces coûts seront beaucoup plus élevés.

Les inondations et autres dangers climatiques feront baisser la valeur des bâtiments et des infrastructures et menaceront les investissements, les marchés et l'économie.

Nous avons constaté que jusqu'à 15 % des résidences et bâtiments non résidentiels au Canada sont exposés à un certain risque de submersion côtière ou d'inondation intérieure, et qu'environ 8 % se trouvent dans une plaine inondable de récurrence de 100 ans. Et parce que le risque est concentré dans des marchés immobiliers coûteux comme Toronto et Vancouver, nous estimons que près du quart de la valeur totale des résidences et bâtiments du Canada est exposée aux inondations. Le risque guettant ces propriétés grimpera radicalement à mesure que les changements climatiques entraîneront la hausse du niveau de la mer et feront passer ce que nous considérons aujourd'hui comme des pluies de récurrence de 100 ans à une récurrence de 25 ans ou 10 ans, voire moins.

Nous estimons qu'actuellement, les dommages attribuables aux submersions côtières et aux inondations intérieures atteignent environ 1,3 milliard de dollars par année. D'ici le milieu du siècle, ces coûts seront multipliés par cinq, même selon notre scénario d'émissions modérées. Sans une réduction des émissions, ils seront multipliés par au moins 10 d'ici la fin du siècle. En outre, l'accumulation des dommages fera baisser la valeur des propriétés en zones inondables partout au pays. Cette perte de valeur laissera aux propriétaires moins de latitude pour négocier ou renouveler leurs prêts hypothécaires, prêts ou autres obligations financières. De plus, les institutions bancaires et autres prêteurs pourraient être confrontés à une hausse des défauts de paiement – car les propriétaires abandonneront leur résidence ou bâtiment qui n'est plus assurable ou qu'ils n'ont plus les moyens de réparer – et encaisser des pertes importantes puisque la valeur de la garantie sera moindre. Les investisseurs immobiliers – fiduciaires de placement immobilier ou titres adossés à des créances hypothécaires, etc. – pourraient aussi subir des pertes importantes.

Or, les répercussions sur la valeur des actifs et les risques financiers connexes ne se limitent pas à l'immobilier. Les municipalités et les entreprises privées ou de services publics qui sont propriétaires d'infrastructures à risque de subir des inondations ou exposées à un nombre croissant de dangers climatiques pourraient voir leurs biens matériels perdre de la valeur de façon inattendue. Leur cote de crédit risque de diminuer, et elles pourraient avoir davantage de difficulté à emprunter ou à mobiliser des capitaux, sans compter que les contrats d'assurance pour les dangers climatiques risquent de devenir de plus en plus coûteux, ou même être résiliés. Ultimement, ce sont inévitablement les contribuables et les investisseurs qui en paieront le prix. Enfin, les prêteurs et créanciers obligataires qui fournissent du capital à long terme pourraient subir des pertes sur créance et un rendement inférieur.

L'accumulation de ces répercussions nuit à la stabilité des marchés et au système financier. L'augmentation des dommages et des pertes attribuables aux phénomènes météorologiques extrêmes de plus en plus fréquents et aux autres effets des changements climatiques au Canada et partout dans le monde pourrait amener les banques et autres prêteurs à réévaluer la solvabilité de beaucoup de personnes, d'entreprises et même de secteurs d'activités en entier, ce qui compliquerait l'accès au crédit. Comme les investisseurs risquent de se désengager des entreprises et des secteurs qui possèdent des infrastructures et des actifs à risque, la valeur des immeubles et des biens matériels pourrait baisser encore plus, et le crédit, devenir encore plus dispendieux. De plus, il se peut que les assureurs cessent de couvrir les résidences et les entreprises à risque si les indemnités associées aux changements climatiques continuent d'augmenter, précarisant la situation non seulement des propriétaires, mais aussi des prêteurs. L'ensemble de ces répercussions, si elles atteignent une ampleur suffisante, risquent de se répercuter sur l'économie canadienne en renforçant les cycles de contraction de crédit et en freinant la croissance et les activités (CSF, 2020). Enfin, durant la transition mondiale vers une économie à faibles émissions de carbone, les risques climatiques physiques se mêlent aux risques liés à la transition (pertes et coûts pour les propriétaires, les prêteurs et les investisseurs dans les secteurs à fortes émissions), ce qui pourrait cimenter l'instabilité financière et économique.

Le manque de compréhension et de transparence à l'égard des risques climatiques mène à des décisions risquées et à l'accumulation des obligations.

Au Canada, nous disposons de très peu d'information sur les risques climatiques qui menacent les infrastructures physiques. Les données accessibles au public – comme celles fournies par le Centre canadien des services climatiques du gouvernement fédéral ou accessibles sur les portails régionaux – se limitent essentiellement aux variables climatiques et météorologiques (CCSC, 2021). Ces données indiquent à quelles conditions climatiques le Canada peut s'attendre dans l'avenir, mais ne précisent pas les risques qui y sont associés, comme les dommages matériels potentiels, les coûts économiques directs et indirects, et les conséquences sociales et culturelles.

D'autres produits gouvernementaux qui visent à décrire les risques climatiques favorisent peu l'adaptation. Par exemple, même si les inondations demeurent le type de catastrophe météorologique le plus coûteux au Canada, les cartes des zones inondables gouvernementales qui indiquent les risques d'inondation actuels sont incomplètes, en grande partie désuètes et difficiles à obtenir. En outre, bien que les études indiquent depuis des décennies que les changements climatiques risquent d'exacerber les inondations à l'échelle nationale, presque aucun progrès n'a été réalisé pour estimer les risques d'inondation futurs au pays. On continue donc de bâtir des résidences et des bâtiments dans des zones à haut risque, et les propriétaires actuels et acheteurs potentiels sont peu au fait des risques d'inondation actuels ou futurs. On note le même type de manque d'information partout au Canada en ce qui a trait aux risques de feu incontrôlé (Lewis, 2019).

Ce manque d'information et d'orientation concernant les risques dans les codes et les normes fait en sorte qu'on continue de concevoir de nouvelles infrastructures – et de gérer les infrastructures existantes – en fonction des conditions climatiques du passé; les obligations financières pourraient atteindre les milliards de dollars, comme le démontre notre analyse. Par ailleurs, même si les décideurs savent depuis des décennies qu'un grand nombre de normes et de codes nationaux en matière de bâtiment et d'infrastructure ne sont pas adaptés au climat en évolution, on ne fait que commencer à les mettre à jour pour tenir compte des risques climatiques futurs (Arsenault, 2019).

Devant l'absence de données publiques, le secteur privé a élaboré différents produits sur les risques climatiques pour répondre aux besoins de certains secteurs d'activités, dont l'assurance. Ces produits sont toutefois coûteux et ne peuvent être distribués à grande échelle en raison de restrictions liées à la propriété intellectuelle.

Or, s'il y a peu d'information sur les risques physiques liés aux changements climatiques, il y en a encore moins sur la façon de calculer les coûts qui en découlent. En effet, si des entités comme le Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques et le Groupe d'experts sur la finance durable du Canada ont souligné l'importance de refléter de façon transparente les risques climatiques physiques dans les systèmes financiers, la plupart des propriétaires et des petites entreprises, et même les grandes sociétés et les gouvernements, n'ont pas l'expertise nécessaire pour déterminer l'effet qu'auront les répercussions des changements climatiques sur leurs finances, même si des données étaient accessibles (gouvernement du Canada, 2019; GIFCC, 2017). Pour cette raison, la plupart des personnes, des organismes et des secteurs sont incapables d'intégrer les risques climatiques à leur planification financière et leur processus décisionnel. Pour leur part, les assureurs spécialisés, fournisseurs de solutions d'adaptation et détenteurs de capitaux privés sont en bonne partie incapables de réaliser une analyse de rentabilité pour les produits, services et investissements susceptibles d'aider les personnes et les firmes à composer avec certains des risques climatiques qui les concernent.

Les gouvernements et les contribuables sont financièrement exposés sur plusieurs fronts.

Les gouvernements, et par extension, les contribuables, paieront directement pour les dommages aux infrastructures attribuables au climat. Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux devront assumer une grande part de ces coûts grandissants par l'intermédiaire de leurs programmes d'intervention en cas de catastrophe. Les ressources financières ne suffisent toutefois pas à répondre à la demande. Malgré les plus récents engagements budgétaires, les fonds consacrés aux interventions et au rétablissement suivant une catastrophe sont bien en deçà de ce que le directeur parlementaire du budget juge nécessaire (gouvernement du Canada, 2021; DPB, 2016), ce qui laisse un plus lourd fardeau aux gouvernements provinciaux, territoriaux et autochtones, aux collectivités locales et aux particuliers.

Les provinces, les territoires et les municipalités – les plus grands propriétaires d'infrastructures publiques au pays – verront aussi les coûts d'entretien et de remplacement de ces infrastructures grimper en raison des conditions climatiques changeantes. Les gouvernements autochtones ne seront pas épargnés, puisqu'ils acquièrent de plus en plus de droits sur les infrastructures situées dans leurs territoires et communautés. Pour assumer le coût de ces dommages, il se peut qu'il faille couper dans d'autres programmes, emprunter davantage ou augmenter les impôts. Comme l'indique notre analyse, les actifs publics à risque sont notamment les immeubles, les routes et les infrastructures électriques. Mais beaucoup d'autres types d'infrastructures le sont aussi, comme les réseaux d'aqueduc et d'égouts, les ponts, les aéroports, les ports et les réseaux de transport en commun.

Depuis toujours, les assureurs privés contribuent grandement à aider les personnes et les entreprises à se relever après une catastrophe météorologique, mais la hausse rapide des indemnisations menace maintenant leur modèle

d'affaires. Si les assureurs choisissent de continuer à offrir leurs produits d'assurance aux propriétaires d'immeubles et d'actifs exposés à des risques climatiques accrus – ou si les gouvernements les y obligent –, ils n'auront d'autre choix que de compenser les coûts en augmentant considérablement les primes des assurances sur les biens. Il se peut aussi qu'ils cessent de couvrir certains clients; par exemple, au Canada, l'assurance contre les inondations est déjà hors de prix ou inaccessible pour les résidences et bâtiments les plus à risque d'inondation (Dolynny, 2019), et elle le deviendra sans doute à plus grande échelle puisque le risque d'inondation augmentera avec les changements climatiques.

Outre leurs obligations directes, les gouvernements et les particuliers sont aussi indirectement exposés en raison des répercussions des dommages aux infrastructures et des pertes connexes sur l'économie. Les perturbations des activités commerciales et les conséquences sur la chaîne d'approvisionnement attribuables à la perte de fiabilité croissante des infrastructures se feront sentir, à terme, sur les coffres du gouvernement, vu le déclin de la productivité, le ralentissement de l'économie et la perte de recettes fiscales; ce manque à gagner devra être comblé par une hausse d'impôts ou des coupures dans les programmes et services dont profite la population canadienne.

La transition carboneutre requiert – et peut contribuer à créer – des infrastructures résilientes aux changements climatiques.

Deux défis attendent le Canada dans les prochaines décennies en ce qui a trait aux nouvelles infrastructures. D'abord, il faudra investir massivement dans les infrastructures, tout en favorisant la transformation profonde de l'économie pour atteindre la carboneutralité au Canada d'ici 2050 : des investissements d'une telle envergure ne se reproduiront sans doute pas pour plusieurs générations. Ensuite, il faudra injecter des fonds pour rendre les infrastructures canadiennes existantes et futures plus résilientes au climat de plus en plus chaud et instable. Actuellement, ces deux défis sont traités dans des enveloppes distinctes. Or, le Canada dispose de ressources limitées et n'a pas beaucoup de temps et aucune marge d'erreur pour atteindre la cible; il faudra donc coordonner les mesures pour accélérer les progrès et éviter d'investir dans une enveloppe au détriment de l'autre.

Par exemple, l'électrification de l'économie canadienne est une voie incontournable pour atteindre la carboneutralité : la demande en électricité devrait augmenter d'au moins 45 % à 65 % d'ici le milieu du siècle par rapport au niveau de 2015 (Dion et coll., 2021). Notre analyse démontre toutefois qu'en l'absence de mesures d'adaptation proactives, les infrastructures de transport et de distribution d'électricité seront exposées à un risque accru de détérioration et de bris en raison du réchauffement climatique, et les hausses de température en été pourraient faire exploser la demande et provoquer des pannes aux moments les plus inopportuns. Pour que les investissements dans l'énergie renouvelable et la modernisation du réseau rapprochent le Canada de ses cibles de carboneutralité, ils doivent donc aussi viser des mesures pour accroître la résilience du réseau.

Il est possible de concevoir les nouvelles infrastructures pour qu'elles fournissent un service fiable dans le nouveau climat et réduisent les émissions. Pensons par exemple aux programmes de rénovation énergétique des immeubles qui visent aussi des mises à niveau pour accroître la résilience aux feux incontrôlés, aux inondations et aux vagues de chaleur, ou aux plans de réaménagement urbain qui réduisent les eaux de ruissellement tout en augmentant la densité et le potentiel piétonnier.

Le gouvernement fédéral a commencé à prendre des mesures pour mettre la résilience de l'avant dans ses investissements dans les infrastructures, conformément à l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada, qui exige que pour certains programmes fédéraux de financement des infrastructures, les demandeurs évaluent les risques climatiques visant l'infrastructure proposée et précisent les mesures pour y remédier. Par contre, cette exigence s'ap-

plique à peu de projets financés par le fédéral, et ne vise pas les infrastructures entièrement financées par les gouvernements provinciaux et les municipalités, ni les investissements par des entreprises de services publics ou le secteur privé. En outre, elle n'oblige pas les promoteurs à évaluer comment leur projet pourrait accroître la résilience de la collectivité ou du secteur où l'infrastructure sera installée, que ce soit de façon isolée ou de concert avec d'autres projets d'infrastructure. Il faudra multiplier les outils afin de tirer parti des ressources et de la compétence de tous les ordres de gouvernement pour faire en sorte que les investissements en infrastructure contribuent à accroître la résilience.

Les coûts d'infrastructures liés aux changements climatiques seront répartis inégalement au Canada.

Selon notre analyse, certaines personnes, communautés et régions seront touchées de façon disproportionnée par les répercussions des risques climatiques sur les infrastructures et les coûts connexes. Par exemple, les risques physiques et financiers des inondations concernent principalement moins de 10 % des résidences et des bâtiments. Ces propriétaires sont beaucoup plus susceptibles non seulement de subir les dommages directs des inondations, mais aussi de voir la valeur de leur propriété chuter et leur accès aux assurances devenir limité, puisque le risque d'inondation augmentera avec les changements climatiques. Les conséquences risquent d'être dévastatrices pour les communautés comptant une forte proportion de résidences et de bâtiments en zones inondables – particulièrement les petites villes et les villages ayant peu de ressources – en raison des coûts de reconstruction après une inondation et de la perte d'impôts fonciers attribuable à la baisse de valeur des propriétés et à l'exode des résidents vers des lieux plus hospitaliers.

Les communautés confrontées à des lacunes en matière d'infrastructures sont particulièrement vulnérables. En effet, pour de nombreux peuples autochtones – surtout ceux qui se sont retrouvés dans des zones à risque chronique en raison de la colonisation et des relocalisations forcées –, les répercussions du climat risquent d'exacerber les déficits d'infrastructures essentielles, comme les réseaux d'aqueduc et les routes, et nuire à leurs droits, leurs pratiques culturelles, leur santé et leur bien-être (Waldron, 2021). Par ailleurs, les collectivités rurales, éloignées et du Nord qui n'ont qu'un accès routier ou ferroviaire, ou seulement un petit aéroport pourraient être particulièrement perturbées par les défaillances des infrastructures. La facture risque aussi d'être salée pour leur population puisque les fournisseurs d'électricité incluront les coûts de réparation des réseaux de transport et de distribution dans leurs tarifs, des réseaux plus étendus par client que dans le Sud et qu'en zones urbaines.

Les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures et les coûts associés seront particulièrement lourds pour les personnes et les collectivités déjà économiquement défavorisées. Comme les personnes à faible revenu et les collectivités défavorisées disposent déjà de peu de ressources pour intervenir en cas de phénomènes météorologiques extrêmes et de catastrophes liées aux changements climatiques, elles subiront de façon disproportionnée la hausse de leur fréquence et de leur intensité. De plus, en voulant couvrir leur part croissante des coûts associés à ces risques, les banques et les assureurs auront tendance à hausser les primes d'assurance, les intérêts sur les prêts et les coûts d'immobilisation, donc les personnes et collectivités disposant de peu de ressources seront encore moins capables d'investir dans des mesures d'adaptation pour diminuer ces risques.

Des mesures d'adaptation proactives peuvent éliminer la plupart des risques, mais non sans écueils.

Selon nos résultats, des mesures d'adaptation proactives peuvent réduire considérablement les dommages et les pertes liés aux changements climatiques. Des analyses des avantages d'adapter les routes, les voies ferrées et les réseaux de transport et de distribution d'électricité indiquent que des mesures assez simples – comme de tenir

compte des changements climatiques à long terme au moment de réparer ou de remplacer les infrastructures – peuvent réduire les coûts nets de 50 % à 90 %. Par ailleurs, nous estimons que l'adaptation de ces infrastructures et l'adaptation aux submersions côtière est hautement efficace pour réduire les risques associés aux projections climatiques les plus extrêmes et à la hausse du niveau de la mer au Canada, ce qui en fait des protections essentielles contre les scénarios les plus pessimistes.

Même si les mesures d'adaptation présentent des avantages indéniables, de nombreux obstacles demeurent. Comme il a déjà été mentionné, le manque d'information pertinente, utilisable et crédible sur les risques climatiques actuels et futurs fait en sorte que les propriétaires, les entreprises et les collectivités connaissent mal les risques ou que rien ne les incite à les réduire. Au Canada, les codes et les normes en matière de bâtiment et d'infrastructure, qui sont très lentement mis à jour, commencent tout juste à tenir compte des risques climatiques. Les gouvernements, les entreprises et les investisseurs se préoccupent plus des avantages et des profits à court terme qu'ils tirent en exploitant et en concevant des infrastructures que de la gestion des risques à long terme. Les entités publiques et privées connaissent peu les possibilités d'adapter les infrastructures et de les rendre plus résilientes, et peinent à financer de telles mesures vu la difficulté à faire une analyse de rentabilité en fonction de répercussions et de coûts évités hypothétiques. Par ailleurs, certaines solutions d'adaptation – comme de coordonner un retrait stratégique dans des zones inondables en achetant les résidences et propriétés à risque avec des fonds publics – peuvent être très litigieuses ou difficiles sur le plan émotionnel. En effet, ce n'est pas parce qu'elles présentent des avantages économiques indéniables que ces options sont viables ou culturellement appropriées, surtout si les personnes touchées sont à faible revenu, racisées ou issues de communautés marginalisées.

Les coûts et les risques climatiques visant les infrastructures canadiennes ne sont que la pointe de l'iceberg.

Si nous sommes arrivés à déterminer certaines des principales répercussions des changements climatiques sur les infrastructures et les services d'infrastructure du Canada ainsi que les coûts connexes potentiels, nous n'avons quantifié qu'une fraction des risques globaux. Notre analyse nous a permis d'estimer les principaux coûts directs des dommages aux infrastructures clés découlant des changements climatiques, mais, vu le manque d'information concernant certains dangers climatiques à venir et la façon dont les infrastructures y réagiront, il est impossible de quantifier le coût de nombreux dommages directs. Les coûts indirects sont encore plus difficiles à évaluer. Si des analyses comme la nôtre permettent de cerner certains des coûts de premier ordre attribuables aux retards et aux perturbations, il est extrêmement difficile de prévoir de quelle façon ces pertes de services d'infrastructure – et l'interaction de l'interruption de différents types d'infrastructures – se répercuteront dans les chaînes d'approvisionnement et l'économie. On ne sait pas non plus quelle sera l'incidence de ces pertes et de ces interruptions sur la santé et le bien-être des personnes et des collectivités.

Malgré ce manque d'information, notre analyse arrive à dresser le portrait de la portée du défi que posent les infrastructures à l'ère des changements climatiques et des possibilités de recourir à des mesures d'adaptation pour réduire considérablement les répercussions et les coûts.

Des décisions importantes se prennent actuellement concernant l'avenir des infrastructures au pays, et l'Évaluation nationale des infrastructures du Canada, toujours en cours, proposera un plan d'investissement, notamment pour la transition carboneutre (gouvernement du Canada, 2021). Il n'y a pas de temps à perdre : ces initiatives doivent tenir

compte des risques climatiques déjà connus afin que l'on construise des infrastructures carboneutres modernes mieux à même de servir les communautés et les entreprises dans un monde en évolution rapide.

À long terme, l'absence d'information publique sur les risques climatiques continuera de freiner l'adaptation des infrastructures par les propriétaires et les exploitants, qu'il s'agisse de gouvernements, de sociétés privées ou de propriétaires résidentiels. Comme l'a souligné le Groupe d'experts sur la finance durable du Canada, il n'y a pratiquement aucun outil au pays pour déterminer concrètement les répercussions possibles à partir de données sur le climat (gouvernement du Canada, 2019). Il faudra pallier ce manque si nous voulons proposer des mesures robustes pour évaluer, mesurer, chiffrer et gérer les risques climatiques et les possibilités connexes dans la conception et l'exploitation des infrastructures au Canada.

RECOMMANDATIONS

Les recommandations ci-dessous visent à aider les différents ordres de gouvernement du Canada à se préparer aux répercussions des changements climatiques sur les infrastructures et aux coûts associés, à corriger les lacunes dans les politiques et mesures incitatives, et à promouvoir une meilleure gestion des risques climatiques et une meilleure adaptation à ces derniers.

1 Les gouvernements devraient élaborer et publier de l'information exacte et utile sur les risques climatiques visant les infrastructures.

Pour comprendre et gérer les risques climatiques actuels et futurs, et investir de façon éclairée dans des mesures d'adaptation, les gouvernements, les sociétés, les investisseurs et les personnes doivent avoir accès à une information concrète et à jour sur ces risques.

Actuellement, les renseignements sur les répercussions des changements climatiques à venir et sur les risques climatiques actuels au Canada sont incomplets et manquent de cohérence. Les gouvernements publient surtout des données historiques sur le climat et les principaux résultats des modèles du climat futur, qui n'offrent que peu ou pas d'éclairage sur les risques climatiques pour les infrastructures et les services d'infrastructure. D'autres produits gouvernementaux qui visent à faire connaître les risques climatiques, comme les cartes des zones inondables, sont désuets ou incomplets, et ne tiennent pas compte des risques à venir. Enfin, l'information commerciale en la matière peut être utile aux personnes qui ont les moyens de payer, mais cela crée une certaine iniquité lorsque vient le temps d'intégrer les risques dans les processus décisionnels et les transactions.

Les gouvernements ont un rôle de premier plan à jouer pour faire en sorte qu'une information cohérente et utile sur les risques climatiques soit accessible à tous. Le gouvernement fédéral devrait lancer les études et les modélisations de base nécessaires pour comprendre la menace posent le réchauffement climatique et l'instabilité accrue du climat sur les infrastructures, notamment en surveillant de façon continue les tendances météorologiques et climatiques au Canada et en proposant des modèles nationaux pertinents et adaptés des conditions climatiques

à venir. En outre, il devrait élaborer des normes sur l'utilisation de ce type d'information dans tous les produits sur les risques climatiques, comme les cartes des zones inondables, et dans les évaluations des risques climatiques. Les gouvernements provinciaux et territoriaux devraient aussi utiliser ces données et ces normes pour élaborer et publier de l'information sur les risques climatiques prioritaires pour la population et l'économie. Enfin, il serait pertinent que tous les ordres de gouvernement travaillent ensemble pour conclure des ententes – y compris avec le secteur privé, au besoin – visant à ce que le financement de ces activités soit adéquat et équitable.

Le manque actuel d'information sur les risques climatiques ne justifie toutefois pas l'immobilisme quant aux mesures d'adaptation. Les changements climatiques endommagent déjà les infrastructures et coûtent des milliards de dollars par année à l'échelle du pays : il faut donc immédiatement accélérer les investissements dans ces mesures. L'information actuelle sur les risques et la liste grandissante des répercussions et catastrophes climatiques récemment répertoriées ont suffisamment établi l'ampleur des risques climatiques pesant sur les infrastructures au Canada pour exiger des adaptations supplémentaires visant les principaux risques et les zones les plus vulnérables. Les gouvernements doivent continuer de proposer des stratégies et des mesures d'adaptation qu'il sera possible de mettre à jour et d'améliorer lorsque la prochaine génération d'information sur les risques climatiques sera accessible.

2 Les gouvernements et les autorités de réglementation devraient exiger que les propriétaires d'infrastructures actuelles et projetées révèlent les risques climatiques.

Comme nous l'avons souligné dans notre rapport initial sur les mesures d'adaptation, *La pointe de l'iceberg : composer avec les coûts connus et inconnus des changements climatiques au Canada*, la transparence à l'égard des risques climatiques favorise une prise de décisions résilientes plutôt que risquées. Le Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques et le Groupe d'experts sur la finance durable du Canada précisent aussi que la divulgation des risques physiques liés au climat – ainsi que des stratégies pour les gérer – est essentielle pour décourager les investissements dans des infrastructures et biens matériels risqués au profit d'options plus résilientes (gouvernement du Canada, 2019; GIFCC, 2017).

Notre analyse met aussi en lumière les conséquences actuelles et projetées des lacunes dans l'évaluation, la divulgation et la gestion des risques climatiques. Elle précise qu'à défaut de sensibiliser les propriétaires d'infrastructures publiques et privées à ce type de risque et de les responsabiliser à cet égard, ils accumuleront encore davantage de risques alors que le climat continuera de changer. De même, si les prêteurs, les assureurs et les investisseurs omettent d'analyser les risques climatiques inhérents à leurs portefeuilles, ils continueront de favoriser de mauvaises décisions en matière d'infrastructure en offrant du crédit, des assurances et des capitaux.

Les gouvernements, ainsi que les organismes de réglementation qu'ils supervisent et régissent, devraient s'assurer que les propriétaires d'infrastructures, les prêteurs et les assureurs analysent et gèrent les risques climatiques. Ils devraient aussi veiller à ce qu'ils divulguent ces risques

ainsi que leur stratégie pour les gérer afin que les parties prenantes et les marchés en tiennent compte dans leurs décisions. Certains organes fédéraux, comme le Bureau du surintendant des institutions financières, la Banque du Canada et le ministère des Finances, devraient par exemple suivre la recommandation du Groupe d'experts sur la finance durable et intégrer la divulgation des risques climatiques dans leur processus de supervision des institutions financières fédérales. De même, les organes provinciaux qui régissent les placements, l'immobilier, les services publics et les infrastructures municipales devraient ajouter l'obligation de divulguer les risques physiques liés aux changements climatiques et les stratégies pour les gérer dans la planification, les processus décisionnels et les transactions.

Comme il est mentionné à la première recommandation, les données, les outils et l'expertise nécessaires pour évaluer les risques climatiques pour les infrastructures ne sont pas tous en place. Il est possible de mettre en œuvre dès maintenant différents volets du processus de divulgation à partir de l'information existante, mais les gouvernements et les autorités de réglementation doivent favoriser l'élaboration de ressources pour les secteurs et organismes visés, et les guider durant la transition rapide, mais graduelle vers la transparence totale.

3 Les gouvernements devraient évaluer clairement les avantages de la résilience et les risques climatiques pour toutes les dépenses en infrastructures et les décisions réglementaires.

Vu la longue durée de vie des infrastructures, les décisions prises aujourd'hui – et hier – détermineront la résilience des infrastructures canadiennes aux changements climatiques d'ici la fin du siècle. C'est pourquoi les gouvernements et autres entités ne devraient pas tarder à intégrer des mesures d'adaptation et de résilience dans leurs décisions en matière d'infrastructure, surtout en considérant que de nombreux investissements dans les infrastructures publiques et privées seront requis pour réaliser la transition carboneutre au Canada. Sans une planification rigoureuse qui tiendrait compte de la résilience, ces investissements pourraient accroître la vulnérabilité des nouvelles infrastructures pour les décennies, voire les siècles à venir, et laisser passer les occasions d'accroître la résilience communautaire et économique.

Collectivement, les gouvernements fédéral, provinciaux, territoriaux et autochtones, et les municipalités peuvent influencer presque toutes les décisions en matière d'infrastructure au pays. Comme ils participent à l'établissement de normes pour les infrastructures, au financement et à la planification des infrastructures publiques, à la réglementation visant leur exploitation et le développement urbain, à l'évaluation de grands projets de développement urbain et d'exploitation des ressources naturelles, et à l'entretien et à l'exploitation des infrastructures, ils peuvent en profiter pour réduire les risques actuels et futurs découlant des décisions en matière d'infrastructure.

Par exemple, le gouvernement fédéral devrait faire de la résilience climatique des infrastructures l'un des principaux objectifs des stratégies nationales à long terme et des programmes de financement en la matière. Il permettrait ainsi d'accélérer considérablement la prise en compte des risques

climatiques et des principes d'adaptation dans les normes et les codes nationaux en matière de bâtiment et d'infrastructure. En outre, il serait pertinent qu'il élargisse le concept de l'Optique des changements climatiques pour le rendre applicable à tous les projets d'infrastructure qu'il finance et y exiger non seulement que ces infrastructures soient résilientes, mais aussi qu'elles contribuent à accroître la résilience de la société en général.

Pour leur part, les gouvernements provinciaux et territoriaux devraient adopter les mêmes critères pour leurs normes et les projets d'infrastructures publiques, et prévoir des normes et des règlements pour que les risques climatiques soient pris en compte dans la gestion des infrastructures provinciales et municipales. Enfin, les gouvernements provinciaux, territoriaux et autochtones, et les municipalités devraient se servir de leur autorité en matière d'aménagement du territoire pour que les nouvelles constructions et infrastructures évitent les risques climatiques et améliorent la résilience des collectivités existantes.

4 Les gouvernements devraient créer des filets de sécurité pour les plus vulnérables afin que le prix des risques climatiques soit équitable.

En resserrant les exigences en matière de transparence, de divulgation et de responsabilité relatives aux risques climatiques dans les marchés, les systèmes financiers et autres lieux décisionnels pour les infrastructures, on envoie des signaux de prix qui feront baisser les investissements dans les infrastructures et les actifs à haut risque. Il y aura des avantages globaux à long terme. Or, si aucune mesure de contrôle n'est en place, la transition vers une économie dans laquelle il y a une tarification des risques climatiques dans toutes les transactions pourrait créer des obstacles à l'adaptation pour les collectivités et les personnes déjà économiquement vulnérables aux dommages découlant au climat. Par exemple, les propriétaires qui peinent déjà à trouver des fonds pour protéger leur résidence contre les inondations auront encore moins d'argent à dépenser si les banques augmentent les taux hypothécaires, et les assureurs, les primes d'assurance dans les zones inondables.

Pour éviter d'imposer le plus lourd fardeau à ceux qui ont le moins les moyens de payer, les gouvernements devraient dresser la liste des personnes, des entreprises et des collectivités économiquement vulnérables qui pourraient être pénalisées de façon disproportionnée et inéquitable par les tarifs des risques climatiques, et en tenir compte dans la planification des mesures d'adaptation. De plus, pour que ces tarifs ne creusent pas davantage les inégalités actuelles, ils devraient, au moment d'investir dans les infrastructures ou les ressources de protection, viser ces groupes en priorité en favorisant des mesures de réduction des risques qu'ils seront en mesure de mettre en œuvre. Tous les ordres de gouvernement doivent collaborer à cette fin : pour le gouvernement fédéral, il s'agit d'encourager ce choix en imposant des conditions au financement de mesures d'adaptation, et pour les autres, de concentrer sans tarder les ressources d'adaptation et les investissements sur les personnes, les entreprises et les communautés les plus vulnérables.

Les mesures d'adaptation ne permettront pas toujours d'éliminer les risques climatiques pour les résidences, les propriétés et les biens matériels d'ici l'entrée en vigueur de la tarification. Le cas

échéant, il faudrait que les gouvernements élaborent des programmes pour aider les propriétaires, les entreprises et les collectivités économiquement vulnérables à obtenir une assurance et du crédit en attendant les solutions d'adaptation à long terme. Par exemple, les consortiums d'assureurs pour les zones à haut risque d'inondation subventionnés par le gouvernement – présents dans de nombreux pays, dont les États-Unis et le Royaume-Uni, et actuellement à l'étude au Canada, notamment par le Groupe de travail sur l'assurance contre les inondations et la réinstallation – peuvent proposer des produits abordables pour que les propriétaires concernés soient capables de payer leurs primes d'assurance (Sécurité publique Canada, 2020). Il serait important que le gouvernement fédéral travaille avec ses homologues provinciaux, territoriaux et autochtones pour cibler les zones et les groupes économiquement vulnérables qui pourraient avoir besoin de telles mesures d'aide. Enfin, la collaboration de tous les ordres de gouvernement est nécessaire – et du secteur privé, au besoin – pour créer des instruments financièrement viables visant à mettre en commun et à partager ces risques à l'échelle nationale ou régionale.

GLOSSAIRE

Adaptation	Mesures réduisant les dommages et les pertes associés aux changements climatiques – actuels ou projetés – qui permettent en même temps de saisir de nouvelles occasions potentielles.
Capacité d'adaptation	Forces, caractéristiques et ressources à la portée d'une personne, d'une communauté, d'une société ou d'une organisation lui permettant de s'adapter aux changements climatiques.
Carte des zones inondables	Représentation de la répartition des zones susceptibles d'être périodiquement touchées par des submersions côtières ou des inondations intérieures. Les cartes des zones ou des plaines inondables montrent habituellement les courbes d'élévation du sol, l'emplacement des bâtiments et des routes et l'étendue horizontale du niveau d'eau élevé pour une ou plusieurs inondations, par exemple celle à récurrence de 100 ans. Au Canada, ces cartes sont habituellement dressées par une autorité provinciale ou une municipalité.
Catastrophe	Perturbation importante du fonctionnement normal d'une collectivité ou d'une société en raison de l'interaction d'un phénomène physique dangereux et de vulnérabilités sociales, qui entraîne des répercussions négatives étendues sur la population, les infrastructures, l'économie ou l'environnement. Ces répercussions requièrent une intervention d'urgence, parfois assortie d'une aide externe au rétablissement.
Changements climatiques	Transformation du climat de la Terre, principalement causée par l'utilisation de combustibles fossiles, qui émettent des gaz emprisonnant la chaleur dans l'atmosphère terrestre. Les changements climatiques se manifestent par un réchauffement global de la température, mais on observe aussi une hausse du niveau des mers, une fonte de neige et de glace autrefois pérennes et une accentuation des conditions météorologiques extrêmes.
Climat	Conditions météorologiques moyennes dans un endroit donné sur une longue période, généralement au moins une trentaine d'années.
Danger lié au climat	Événement physique potentiel associé au climat qui pourrait entraîner des décès ou des blessures, ainsi que des pertes ou des dommages touchant les biens matériels, les infrastructures, la prestation de services et les ressources environnementales. En raison des changements climatiques, on s'attend à ce que la fréquence de certains dangers continue d'augmenter.

Exposition	Présence d'humains, de moyens de subsistance, de ressources et de services environnementaux, d'infrastructures ou d'actifs économiques, sociaux ou culturels à des endroits qui pourraient subir les conséquences négatives des changements climatiques.
Flambage	Grandes déformations latérales d'un long rail soudé, qui provoque souvent des déraillements catastrophiques. Le flambage est principalement causé par les temps chauds, qui, en ramollissant les rails, affaiblit et déforme les voies ferrées.
Infrastructure de distribution d'électricité	Dernier maillon du réseau électrique qui fournit l'électricité aux résidences, aux industries et aux autres utilisateurs. Les transformateurs des postes électriques abaissent le courant à des niveaux sécuritaires pour les clients.
Infrastructure de transport d'électricité	Structure servant à acheminer l'électricité produite au réseau de distribution situé dans des zones peuplées, habituellement sur de longues distances par des lignes électriques.
Infrastructures publiques	Installations, systèmes et structures d'infrastructures possédées et exploitées par un gouvernement.
Inondation fluviale	Se produit lorsque le niveau d'un cours d'eau s'élève et déborde sur les rives, les côtes et les terres adjacentes. Sa gravité dépend de la quantité de précipitations tombées dans son bassin hydrologique ainsi que des éléments qui influencent son débit comme les embâcles ou les opérations d'un barrage construit par l'humain.
Inondation intérieure	Se produit lorsque les précipitations sur un terrain s'accumulent à un endroit ou s'écoulent et font gonfler les rivières, cours d'eau et autres plans d'eau intérieurs. L'inondation est pluviale ou fluviale.
Inondation pluviale	Se produit lorsque des précipitations abondantes provoquent une inondation non causée par le débordement d'un plan d'eau : la pluie fait déborder les systèmes de drainage urbains, provoquant le débordement de l'eau dans les rues et les structures à proximité; ou elle tombe sur des surfaces qui ne peuvent la drainer ou l'absorber, provoquant une accumulation de l'eau dans les zones de faible altitude.
Lacunes en matière d'infrastructures	Différence entre les investissements en infrastructures nécessaires et les dépenses actuelles ou passées, qui se traduit par un manque d'infrastructures, des investissements dispersés et inégaux, et un accès inéquitable aux services.
Liant d'asphalte	Composant essentiel de l'asphalte, matériau qui fait adhérer l'agrégat.

Modèle climatique	Simulation du climat basée sur des processus physiques bien documentés. Aussi appelé « modèle de circulation générale » (MCG), il utilise des équations mathématiques pour caractériser l'interaction de l'énergie et de la matière dans diverses parties de l'océan, de l'atmosphère et de la terre.
Ordonnance de vitesse	Réduction temporaire de la limite de vitesse permise pour les trains en raison de conditions dangereuses, principalement les températures élevées, qui entraînent des risques de flambage de la voie et de déraillement de train.
Phénomène météorologique extrême	Variable météorologique (comme la température) hors de ses limites inférieures ou supérieures habituelles. Souvent de courte durée, ces phénomènes comprennent les vagues de chaleur, les tempêtes de verglas, les pluies torrentielles, les tornades, les cyclones tropicaux et les inondations.
Plaine inondable	Terrain adjacent à un cours d'eau qui s'étend des rives de son canal aux flancs de la vallée, et qui est inondé durant les périodes de précipitations abondantes. On utilise les inondations à récurrence de 500 ans, de 100 ans, de 50 ans et de 25 ans en tant qu'indicateurs de la récurrence statistique; elles indiquent un risque d'occurrence respectif de 0,1 %, 1 %, 2 % et 4 % à chaque année donnée.
Point de référence	Repère pour mesurer le changement. Un « point de référence actuel » correspond à des conditions observables actuelles, alors qu'un « point de référence futur » est un ensemble de conditions projetées excluant le facteur étudié. Différentes interprétations des conditions de référence peuvent donner lieu à différents points de référence.
Projections climatiques	Réponse simulée du système climatique à un scénario de concentration ou d'émissions projetées de gaz à effets de serre et d'aérosols, habituellement dérivée à l'aide de modèles climatiques. Les projections climatiques se distinguent des prévisions climatiques du fait qu'elles dépendent du scénario d'émissions, de concentration ou de forçage radiatif utilisé, qui lui-même est basé sur des hypothèses sur des développements socio-économiques et technologiques potentiels, par exemple.
Répercussions	Effets sur les systèmes naturels et humains. Dans le présent document, le terme « répercussions » désigne les effets sur les systèmes naturels et humains des événements physiques, des catastrophes ou des changements climatiques.
Résilience	Capacité d'un système physique, social ou écologie et de ses composants à anticiper ou à absorber les effets d'une catastrophe, à s'y adapter ou à s'en remettre de manière rapide et efficace.
Retrait stratégique	Relocalisation intentionnelle et coordonnée de populations et d'actifs loin d'un risque perçu ou réel, notamment par l'achat et le retrait des résidences et bâtiments les plus à risque de submersion côtière ou d'inondation intérieure.

Risque	Possibilité que des conséquences surviennent lorsqu'un élément important est en jeu et que le résultat est incertain. On représente souvent le risque comme une combinaison de la probabilité d'une tendance ou d'un événement dangereux et des répercussions potentielles de cette tendance ou de cet événement. Il découle de l'interaction entre vulnérabilité, exposition et danger. Dans le présent document, le terme « risque » est surtout utilisé pour désigner les risques associés aux répercussions des changements climatiques.
Sensibilité ou susceptibilité	Mesure dans laquelle une personne, un actif, un ménage, une collectivité, une entreprise ou un écosystème est touché, négativement ou positivement, par les changements climatiques.
Submersion côtière	Inondation de terres de faible altitude normalement sèches par un plan d'eau adjacent, habituellement provoquée par un haut niveau d'eau lors de marées et d'ondes de tempête, ou une combinaison de haut niveau d'eau et de temps orageux où le vent et les vagues poussent l'eau vers les côtes. L'élévation du niveau de la mer provoquée par les changements climatiques accentuera ce phénomène.
Vulnérabilité	Mesure dans laquelle un système est sujet aux effets négatifs des changements climatiques, y compris les variations du climat et les extrêmes climatiques, ou incapable de s'y adapter.

RÉFÉRENCES

- Adaptation to Climate Change Team (ACT) (2020). « Integrated climate Action for BC Communities Initiative ». Université Simon Fraser. Sur Internet : <https://act-adapt.org/icabcci/>.
- Adaptation to Climate Change Team (ACT) (2021). « Low carbon resilience ». Université Simon Fraser. Sur Internet : <https://act-adapt.org/projects/low-carbon-resilience/>.
- Agence internationale de l'énergie (AIE) (2020). *Key World Energy Statistics 2020*. Sur Internet : <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>.
- Ajibade, Idowu, et Gordon McBean (2014). « Climate extremes and housing rights: A political ecology of impacts, early warning and adaptation constraints in Lagos slum communities », *Geoforum*, vol. 55 (août) : p. 76-86.
- Arsenault, Chris (2019). « Canada's building code is getting a climate change rewrite. Is your home ready? », *CBC News* (11 avril).
- Association canadienne de l'électricité (ACÉ) (2016). « Adaptation aux changements climatiques : bilan de la situation et recommandations pour le secteur de l'électricité au Canada ».
- Association canadienne des automobilistes (CAA) (2021). *Coût des routes en mauvais état au Canada – Rapport final*.
- Atkin, Emily (2017). « Should We Rebuild Homes in Wildfire Zones? », *The New Republic* (16 octobre). Sur Internet : <https://newrepublic.com/article/145278/rebuild-homes-wildfire-zones>.
- Beck, Jason, et Meimei Lin (2020). « Impacts of Sea Level Rise on Real Estate Prices in Coastal Georgia », *The Review of Regional Studies*, vol. 50, n° 1, p. 43-52. Sur Internet : <https://doi.org/10.52324/001c.11643>.
- Beckett, Sean, et Brock Lacy (2016). « Life's a Beach », *Freddie Mac – Economic & Housing Research : Insight*, n° 6. Sur Internet : <http://www.freddiemac.com/fmac-resources/research/pdf/AprilInsight 04 26 16.pdf>.
- Berz, Kilian, Darwin Smith, Vinay Shandal, Warrick Lanagan, Keith Halliday, Nina Abdelmessih, Ishang Jawa, Ian Taylor, Helen He, Anguel Dimov et Kate Jamieson (2020). « 15 Things to Know About Canadian Infrastructure », Boston Consulting Group.
- Bin, Okmyung, et Craig E. Landry (2013). « Changes in implicit flood risk premiums: Empirical evidence from the housing market », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 65, n° 3, p. 361-376. Sur Internet : <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2012.12.002>.
- Boehlert, B., James E. Neumann, Jason Price, Charles Fant, Paul Chinowsky, Jacob Helman, Kenneth M. Strzepek et Jacqueline Willwerth (2021). « Costing Climate Change Impacts on Canada's Infrastructure ». Préparé pour l'Institut canadien pour des choix climatiques.
- Boustan, Leah P., Matthew E. Kahn, Paul W. Rhode et Maria Lucia Yanguas (2017). « The Effect of Natural Disasters on Economic Activity in US Counties: A Century of Data ». Sur Internet : <http://www.nber.org/papers/w23410>.
- Brown, Craig, Ewa Jackson, Deborah Harford et Dan Sandink (2021). « Villes et milieux urbains », dans *Le Canada dans un climat en changement : rapport sur les enjeux nationaux*, F. J. Warren et N. Lulham, éd. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario).
- Bureau d'assurance du Canada (BAC) (2020). « Insurers to pay a record \$1.2 billion to Albertans recovering from Calgary hail-storm » [communiqué de presse]. Sur Internet : <http://www.abc.ca/ab/resources/media-centre/media-releases/insurers-to-pay-a-record-1-2-billion-to-Albertans-recovering-from-calgary-hailstorm>.
- Bureau d'assurance du Canada (BAC) et Fédération canadienne des municipalités (FCM) (2020). « Investir dans l'avenir du Canada : le coût de l'adaptation aux changements climatiques à l'échelle locale ». Sur Internet : <https://data.fcm.ca/documents/reports/investir-dans-avenir-du-canada-le-cout-de-adaptation-au-climat.pdf>.
- Bureau du directeur parlementaire du budget (DPB) (2016). *Estimation du coût annuel moyen des Accords d'aide financière en cas de catastrophe causée par un événement météorologique*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2016/DFAA/DFAA_FR.pdf.
- Bush, E., et D. S. Lemmen, éd. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>.
- Canadian Broadcast Corporation (CBC) (2019). « Quebec premier says province will cap flood compensation », *CBC News*. Sur Internet : <https://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/gatineau-floods-ottawa-francois-legault-1.5106522>.

Carbon Brief (2019). « Explainer: The high-emissions 'RCP8.5' global warming scenario ». Sur Internet : <https://www.carbonbrief.org/explainer-the-high-emissions-rcp8-5-global-warming-scenario>.

Centre canadien des services climatiques (CCSC) (2021). *Centre canadien des services climatiques*. Environnement et Changement climatique Canada. Sur Internet : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changes-climatiques/centre-canadien-services-climatiques.html>.

Chausson, Alexandre, Beth Turner, Dan Seddon, Nicole Chabaneix, Cécile A. J. Girardin, Valerie Kapos, Isabel Key, Dilys Roe, Alison Smith, Stephen Woroniecki et Nathalie Seddon (2020). « Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation », *Global Change Biology*, vol. 26, n° 11, p. 6134-6155. Sur Internet : <https://doi.org/10.1111/gcb.15310>.

Chemin de fer Canadien Pacifique (CP) (2021). *Rapport annuel 2020*.

Chinowsky, Paul, Jacob Helman, Sahil Gulati, James Neumann et Jeremy Martinich (2019). « Impacts of climate change on operation of the US rail network », *Transport Policy*, vol. 75, p. 183-191. Sur Internet : <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.05.007>.

Chopik, Chris (2019). « Canada's real estate sector needs to own up to climate risks », *Corporate Knights* (13 septembre). Sur Internet : <https://www.corporateknights.com/channels/climate-and-carbon/extreme-weather-impacting-real-estate-sector-15683881/>.

Ciscar, Juan-Carlos, James Rising, Robert E. Kopp et Luc Feyen (2019). « Assessing future climate change impacts in the EU and the USA: insights and lessons from two continental-scale projects », *Environmental Research Letters*, vol. 14, n° 8, 84010. Sur Internet : <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab281e>.

Clark, Dylan G., Ryan Ness, Dena Coffman et Dale Beugin (2021). « Les coûts des changements climatiques pour la santé : comment le Canada peut s'adapter, se préparer et sauver des vies ». Institut canadien pour des choix climatiques, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://choixclimatiques.ca/reports/les-couts-des-changements-climatiques-pour-la-sante/>.

Clark, Dylan G., et Dena Coffman (2020). « Actifs submergés ». Institut canadien pour des choix climatiques (9 décembre). Sur Internet : <https://choixclimatiques.ca/actifs-submerges/>.

Claveau, Jeannine (2020). *L'Enquête canadienne sur le logement, 2018 : les besoins impérieux en matière de logement des ménages locataires vivant dans un logement social et abordable*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/75f0002m/75f0002m2020003-fra.htm>.

Climate Action Tracker (2020). « Global update: Paris Agreement Turning Point ». Sur Internet : <https://climateactiontracker.org/publications/global-update-paris-agreement-turning-point/>.

Committee on Climate Change (Royaume-Uni) (2017). *UK Climate Change Risk Assessment 2017*. Sur Internet : <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2016/07/UK-CCRA-2017-Synthesis-Report-Committee-on-Climate-Change.pdf>.

Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN) (2021). « Rapport annuel 2020 ».

Conseil de stabilité financière (CSF) (2020). « The implications of climate change for financial stability ». Sur Internet : <https://www.fsb.org/2020/11/the-implications-of-climate-change-for-financial-stability/>.

Conseil des académies canadiennes (CAC) (2019). « Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada ». Sur Internet : <https://rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-Les-principaux-risques-des-changements-climatiques-pour-le-Canada.pdf>.

Crawford, Blair (2018). « Ottawa tornado: Residents in the dark due to power outages », *Ottawa Citizen* (23 septembre). Sur Internet : <https://ottawacitizen.com/news/local-news/update-ottawa-tornado-cleanup>.

Dachis, Benjamin (2013). « Cars, Congestion and Costs: A New Approach to Evaluating Government Infrastructure Investment », *Institut C.D. Howe*, commentaire n° 385 (11 juillet). Sur Internet : <https://doi.org/10.2139/ssrn.2303900>.

Davies, James B. (2020). « 2020-3 Reforming Canada's Disaster Assistance Programs ».

Department of Economics Research Reports (n° 2020-3). London (Ontario) : Department of Economics, Université Western Ontario. Sur Internet : <https://ir.lib.uwo.ca/economicsresrpt/834>.

Delaney, F., et G. Milner (2019). « The State of Climate Modeling in the Great Lakes Basin – A Synthesis in Support of a Workshop held on June 27, 2019 in Ann Arbor, MI ». Ontario Climate Consortium. Sur Internet : https://climateconnections.ca/app/uploads/2020/05/The-State-of-Climate-Modeling-in-the-Great-Lakes-Basin_Sept132019.pdf.

Deloitte Access Economics (2016). « The economic cost of the social impact of natural disasters ». Préparé pour l'Australian Business Roundtable for Disaster Resilience and Safer Communities.

Dion, Jason, Anna Kanduth, Jeremy Moorhouse et Dale Beugin (2021). *Vers un Canada carboneutre : s'inscrire dans la transition globale*. Institut canadien pour des choix climatiques, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://climatechoices.ca/wp-content/uploads/2021/02/Vers-un-Canada-carboneutre_FINAL.pdf.

- DMTI – Lightbox (2020). « CanMap GIS Data for GIS Mapping Software - DMTI Spatial ». Sur Internet : <https://www.dmtispatial.com/canmap/>.
- Dolynny, Travis (2019). « Climate change a leading factor in climbing home insurance costs », *CBC News* (23 mars). Sur Internet : <https://www.cbc.ca/news/canada/london/climate-change-leads-to-higher-home-insurance-1.5065526>.
- Dowling, Paul (2013). « The impact of climate change on the European energy system », *Energy Policy*, vol. 60, p. 406-417. Sur Internet : <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.093>.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2015). *Climate Change in the United States: Benefits of Global Action*. Environmental Protection Agency (États-Unis) : Office of Atmospheric Programs, rapport epa-430-r-15-001.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2020). *Climate Change Impacts and Risk Analysis(CIRA)*. Sur Internet : https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-change-science/climate-change-impacts-and-risk-analysis-cira_.html.
- Fant, Charles, Brent Boehlert, Kenneth Strzepek, Peter Larsen, Alisa White, Sahil Gulati, Yue Liet Jeremy Martinich (2020). « Climate change impacts and costs to U.S. electricity transmission and distribution infrastructure », *Energy*, vol. 195 (mars). Sur Internet : <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116899>.
- French, Clare E., Thomas D. Waite, Ben Armstrong, G. James Rubin, Charles R. Beck et Isabel Oliver (2019). « Impact of repeat flooding on mental health and health-related quality of life: a cross-sectional analysis of the English National Study of Flooding and Health », *BMJ Open*, vol. 9, n° 11, e031562. Sur Internet : <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-031562>.
- Gibson, Jamesine Rogers (2017). « Built to Last: Challenges and Opportunities for Climate-Smart Infrastructure in California ». Union of Concerned Scientists. Sur Internet : www.ucsusa.org/global_warming/.
- Gillingham, Kenneth, William Nordhaus, David Anthoff, Geoffrey Blanford, Valentina Bosetti, Peter Christensen, Haewon McJeon et John Reilly (2018). « Modeling Uncertainty in Integrated Assessment of Climate Change: A Multimodel Comparison », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 5, n° 4, p. 791-826.
- Gouvernement de la Colombie-Britannique, ministère de l'Environnement et de la Stratégie en matière de changement climatique (2019). *Preliminary Strategic Climate Risk Assessment for British Columbia*. Sur Internet : <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/adaptation/prelim-strat-climate-risk-assessment.pdf>.
- Gouvernement du Canada (2019). *Rapport final du Groupe d'experts sur la finance durable – Mobiliser la finance pour une croissance durable*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario).
- Gouvernement du Canada (2021). *Budget 2021 : une relance axée sur les emplois, la croissance et la résilience*.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2014). *Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Sur Internet : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf.
- Groupe de travail sur l'information financière relative aux changements climatiques (GIFCC) (2017). « Implementing the Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures ». Sur Internet : <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-TCFD-Annex-Amended-121517.pdf>.
- Gu, Wulong, et Ryan MacDonald (2009). « L'effet de l'infrastructure publique sur les estimations de la productivité multifactorielle au Canada ». *La revue Canadienne de productivité*, Statistique Canada, Ottawa (Ontario).
- Harchaoui, Tarek M., Faouzi Tarkhani et Paul Warren (2003). « Public Infrastructure in Canada: Where Do We Stand? » *Insights on the Canadian Economy*. Sur Internet : <https://doi.org/10.2139/ssrn.1427963>.
- Henstra, Daniel, Andrea Minano et Jason Thistlethwaite (2019). « Communicating disaster risk? An evaluation of the availability and quality of flood maps », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 19, n° 1, p. 313-323.
- Hetherington, E (2018). « Risk and Protective Factors for Mental Health and Community Cohesion After the 2013 Calgary Flood », *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, vol. 12, n° 4, p. 470-477.
- Hino, Miyuki, et Marshall Burke (2021). « The effect of information about climate risk on property values », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 118, n° 17. Sur Internet : <https://doi.org/10.1073/pnas.2003374118>.
- Infrastructure Canada (2018). *Investir dans le Canada – Le plan d'infrastructure à long terme du Canada*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/site/alt-format/pdf/plan/icp-pic/IC-InvestingInCanadaPlan-FRA.pdf>.
- Infrastructure Canada (2020). *Optique des changements climatiques – Lignes directrices générales*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>.

- Infrastructure Canada (2021). *Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes : détails sur le programme*. Gouvernement du Canada. Sur Internet : <https://www.infrastructure.gc.ca/dmaf-faac/details-fra.html>.
- Ingénieurs Canada (2016). « Protocole d'ingénierie du CVIP pour l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures et l'adaptation au changement climatique – Principes et lignes directrices ».
- James, T. S., Catherine Robin, Joseph Henton et Michael Craymer (2021). *Relative sea-level projections for Canada based on the IPCC Fifth Assessment Report and the NAD83v70Vgnational crustal velocity model*. Commission géologique du Canada, Ressources naturellesCanada.
- JBA Risk Management (2020). « Global Flood Maps ». Sur Internet : <https://www.jbarisk.com/flood-services/maps-and-analytics/global-flood-maps/?web=1&wdLOR=c27066303-D89E-9A47-96E8-7CC5736061B5>.
- Johal, Sunil (2019). « L'impérieuse nécessité de bonifier le Fonds de la taxe sur l'essence – Rapport sur l'état des finances municipales au Canada ». Fédération canadienne des municipalités. Sur Internet : <https://fcm.ca/fr/ressources/imprieuse-necessite-bonifier-fonds-taxe-sur-essence>.
- Johnson, Kelsey (2018). « Forestry industry says it lost \$500 million this year due to raildelays », *iPolitics* (3 décembre). Sur Internet : <https://ipolitics.ca/2018/12/03/forestry-industry-says-it-lost-500-million-this-year-due-to-rail-delays/>.
- Joseph, Rebecca, et Erica Alini (2017). « Flooding, flooding everywhere – do Canadians have insurance for it? », *Global News* (5 mai). Sur Internet : <https://globalnews.ca/news/3425571/flood-insurance-canada/>.
- Keys, Benjamin, et Philip Mulder (2020). « Neglected No More: Housing Markets, Mortgage Lending, and Sea Level Rise ». National Bureau of Economic Research. Sur Internet : <https://doi.org/10.3386/w27930>.
- Klima, Kelly, et M. Granger Morgan (2015). « Ice storm frequencies in a warmer climate », *Climatic Change*, vol. 133, n° 2, p. 209-222. Sur Internet : <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1460-9>.
- Kousky, Carolyn, Howard Kunreuther, Michael LaCour-Little et Susan Wachter (2020). « FloodRisk and the U.S. Housing Market », *Journal of Housing Research*, vol. 29, suppl. 1, p. S3-S24. Sur Internet : <https://doi.org/10.1080/10527001.2020.1836915>.
- Küfeoğlu, Sinan, Samuel Prittinen et Matti Lehtonen (2014). « A Summary of the Recent Extreme Weather Events and Their Impacts on Electricity », *International Review of Electrical Engineering*, vol. 9, n° 4, p. 821-828. Sur Internet : <https://doi.org/10.15866/iree.v9i4.1239>.
- Lecomte, Eugene L., Alan W. Pang et James W. Russell (1998). « La tempête de verglas de 1998. Institut de prévention des sinistres catastrophiques ». Sur Internet : https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/1998_ice_storm_report_french.pdf.
- Lewis, Jeff (2019). « Gaps in wildfire science leave Canadian researchers fighting blind against growing risks », *The Globe and Mail* (17 juillet). Sur Internet : <https://www.theglobeandmail.com/canada/article-gaps-in-wildfire-science-leave-canadian-researchers-fighting-blind/>.
- Li, Charling, Sandra Banholzer, Christine Callihoo et Guy Felio (2019). « Seeing through a New Climate Lens: Canada's Policy Approach to Climate-Resilient Infrastructure ». International Conference on Sustainable Infrastructure 2019: Leading Resilient Communities through the 21st Century – Proceedings of the International Conference on Sustainable Infrastructure 2019, p. 420-427. Sur Internet : <https://doi.org/10.1061/9780784482650.045>.
- Lorie, Mark, James E. Neumann, Marcus C. Sarofim, Russell Jones, Radley M. Horton, Robert E. Kopp, Charles Fant, Cameron Wobus, Jeremy Martinich, Megan O'Grady et Lauren E. Gentile (2020). « Modeling Coastal Flood Risk and Adaptation Response under Future Climate Conditions », *Climate Risk Management*, vol. 29, 100233.
- Mackenzie, Hugh (2013). « Canada's Infrastructure Gap: Where It Came From and Why It Will Cost So Much To Close ». Centre canadien de politiques alternatives. Sur Internet : https://www.policyalternatives.ca/sites/default/files/uploads/publications/National%20Office/2013/01/Canada%27s%20Infrastructure%20Gap_0.pdf.
- McAlpine, Steven A., et Jeremy R. Porter (2018). « Estimating Recent Local Impacts of Sea-Level Rise on Current Real-Estate Losses: A Housing Market Case Study in Miami-Dade, Florida », *Population Research and Policy Review*, vol. 37, n° 6, p. 871-895. Sur Internet : <https://doi.org/10.1007/s11113-018-9473-5>.
- McMullen, Paul (2018). « The True Cost of Outages in Canada: \$12 Billion ». S&C Electric Company (12 décembre). Sur Internet : <https://www.sandc.com/en/gridtalk/2018/december/12/the-true-cost-of-outages-in-canada/>.
- Microsoft (2019). « Microsoft Releases 12 million Canadian building footprints as Open Data ». Microsoft Bing Blogs (13 mars). Sur Internet : <https://blogs.bing.com/maps/2019-03/microsoft-releases-12-million-canadian-building-footprints-as-open-data>.
- Mills, Carys (2013). « Toronto's July flood listed as Ontario's most costly natural disaster », *The Toronto Star* (14 août). Sur Internet :

https://www.thestar.com/business/2013/08/14/july_flood_ontarios_most_costly_natural_disaster.html.

MMM Group Limited (2014). « National Floodplain Mapping Assessment - Final Report ». Sur Internet : <https://www.slideshare.net/glenmccgillivray/national-floodplain-mapping-assessment>.

Moorcraft, Bethan (2020). « Insurers must consider climate change when tackling flood risk » Insurance Business Canada (11 septembre). Sur Internet : <https://www.insurancebusinessmag.com/ca/news/commercial-liability/insurers-must-consider-climate-change-when-tackling-flood-risk-233363.aspx>.

Nasr, Amro, Erik Kjellström, Ivar Björnsson, Daniel Honfi, Oskar L. Ivanov et Jonas Johansson (2019). « Bridges in a changing climate: a study of the potential impacts of climate change on bridges and their possible adaptations », *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 16, n° 4, p. 738-749. Sur Internet : <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1670215>.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016). « Methodology for Estimating the Value of Travel Time Reliability for Truck Freight System Users ». Washington (D.C.) : The National Academies Press. Sur Internet : <https://doi.org/10.17226/23547>.

Navius Research (2020). « Impacts of climate change on Canada's electricity system ». Préparé pour l'Institut canadien pour des choix climatiques.

Neumann, James E., Paul Chinowsky, Jacob Helman, Margaret Black, Charles Fant, Kenneth M. Strzepek et Jeremy Martinich. « Climate effects on U.S. infrastructure: the economics of adaptation for rail, roads, and coastal development » [en cours d'examen].

Organisation des Nations Unies (ONU) (2021). « Pour un climat viable : les engagements en faveur du zéro émission nette doivent être étayés par des mesures crédibles ». Sur Internet : <https://www.un.org/fr/climatechange/net-zero-coalition#tab3>.

Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) (2019). « Statistically Downscaled Climate Scenarios ». Université de Victoria. Sur Internet : <https://www.pacificclimate.org/data/statistically-downscaled-climate-scenarios>.

Palko, Kathy G., et Donald Stanley Lemmen, éd. (2017). *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*. Transports Canada, gouvernement du Canada.

Pfeffer, Amanda (2017). « Sellers may want to wait a year for market to recover, agents warn flood victims », *CBC* (14 mai). Sur Internet : <https://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/wait-year-market-recover-ottawa-flood-1.4113966>.

Posadzki, Alexandra (2017). « Majority of Canadian homeowners not insured for flooding: experts », *The Globe and Mail* (8 mai). Sur Internet : <https://www.theglobeandmail.com/news/national/majority-of-canadian-homeowners-not-insured-for-flooding-experts/article34925679/>.

Rao, S. (2020). « A natural disaster and intimate partner violence: Evidence over time », *Social Science & Medicine*, vol. 247, e112804.

RATESDOTCA (2021). « Climate Change has caused Ontario and Alberta home insurance rates to increase by 64 per cent and 140 per cent, respectively: RATESDOTCA », *Cision*. Sur Internet : <https://www.newswire.ca/news-releases/climate-change-has-caused-ontario-and-alberta-home-insurance-rates-to-increase-by-64-per-cent-and-140-per-cent-respectively-rates-dotca-813234492.html>.

Resilient Analytics (2021). « What is IPSS? ». Sur Internet : <https://resilient-analytics.com/ipss>.

Ressources naturelles Canada (RNC) (2018). *L'Atlas du Canada – Base de données sur l'énergie dans les collectivités éloignées*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://atlas.gc.ca/rced-bdece/fr/index.html>.

Ressources naturelles Canada (RNC) (2021). *À propos de l'électricité*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://www.rncan.gc.ca/energie/electricite-infrastructures/propos-de-lelectricite/7360>.

Sawyer, Dave, Ryan Ness, Dylan G. Clark et Dale Beugin (2020). *La pointe de l'iceberg : composer avec les coûts connus et inconnus des changements climatiques au Canada*. Institut canadien pour des choix climatiques. Sur Internet : <https://climatechoices.ca/reports/tip-of-the-iceberg/>.

Sécurité publique Canada (2020). *Groupe de travail sur l'assurance contre les inondations et la réinstallation*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dsstr-prvntn-mtgrn/tsk-frcfld-fr.aspx>.

Services aux Autochtones Canada (2021). *Avis concernant la qualité de l'eau potable à long terme restants*. Gouvernement du Canada. Sur Internet : <https://www.sac-isc.gc.ca/fra/1614387410146/1614387435325>.

Shaw, Gary et Neal Baumann (2020). « 2021 insurance outlook », *Deloitte Insights* (3 décembre). Sur Internet : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/financial-services/financial-services-industry-outlooks/insurance-industry-outlook.html?id=us:2em:3na:4di6304:5awa:6di:MMDDYY&pkid=1006608>.

Siders, A. R. (2018). « Social justice implications of US managed retreat buyout programs », *Climatic Change*, vol. 152, n° 2, p. 239-257. Sur Internet : <https://doi.org/10.1007/S10584-018-2272-5>.

Société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (SIERE) (2015). « Les journées chaudes d'été, la climatisation représente environ le tiers de la consommation d'électricité de l'Ontario : combattez le chaleur et économisez l'énergie cet été » [communiqué de presse]. Sur Internet : <https://www.ieso.ca/en/Corporate-IESO/Media/News-Releases/2015/07/Les-journees-chaudes-dete-la-climatisation-represente-environ-le-tiers-de-la-consommation>.

Statistique Canada (2020a). *Dépenses provinciales et territoriales détaillées de transport, par mode de transport*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=2310026401&request_locale=fr.

Statistique Canada (2020b). *Comptes économiques répartis pour le secteur des ménages, indicateurs du patrimoine, par caractéristique, Canada, annuel*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610058901&request_locale=fr.

Statistique Canada (2020c). *Centre de statistiques sur l'infrastructure*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/71-607-x2018013-fra.htm>.

Statistique Canada (2020d). *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par industries, provinces et territoires*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610040201&request_locale=fr.

Statistique Canada (2021a). *Compte économique d'infrastructure, investissement et stock net paractif, par industrie et par fonction de l'actif*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610060801&request_locale=fr.

Statistique Canada (2021b). *Comptes du bilan national*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610058001&request_locale=fr.

Statistique Canada (2021c). *Origine et destination des marchandises transportées par l'industrie ferroviaire*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Sur Internet : https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=2310006201&request_locale=fr.

Statistique Canada (2018). « Enquête sur les infrastructures publiques essentielles du Canada : actifs routiers, et actifs routiers sous forme de ponts et de tunnels, 2016 », *Le Quotidien* (24 août). Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/180824/dq180824a-fra.htm>.

Statistique Canada (2020). « Flux de marchandises selon le mode de transport au Canada : Cadre d'analyse du fret canadien, 2017 », *Le Quotidien* (14 mai). Sur Internet : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/200514/dq200514c-fra.htm>.

Tamm, Kulli, et Christian Klose (2019). « Wildfire in Canada: fostering resilience through advances in modelling ». Swiss Re Management Ltd., Zurich (Suisse). Sur Internet : https://www.swissre.com/dam/jcr:29e29c5f-9a04-44fa-91ba-465d52837b61/Expertise_Publication_Wildfire_in_Canada_Fostering_resilience.pdf.

Teufel, Bernardo, Gulilat T. Diro, Kirien Whan, Shawn M. Milrad, Dae I. Jeong, Ali Ganji, Oleksandr Huziy, Katja Winger, John R. Gyakum, Ramon de Elia, Francis W. Zwiers et Laxmi Sushama (2017). « Investigation of the 2013 Alberta flood from weather and climate perspectives », *Climate Dynamics*, vol. 48, p. 2881-2899. Sur Internet : <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3239-8>.

Thistlethwaite, Jason, Andrea Minano, Daniel Henstra et Daniel Scott. « Indigenous Reserve Lands in Canada Face High Flood Risk ». Centre pour l'innovation dans la gouvernance internationale, n° 159 (avril 2020). Sur Internet : <https://www.cigionline.org/static/documents/documents/PB%20no.159.pdf>.

Thistlethwaite, Jason, Andrea Minano, Jordan A. Blake, Daniel Henstra et Daniel Scott (2018). « Application of re/insurance models to estimate increases in flood risk due to climate change », *Geoenvironmental Disasters*, vol. 5, n° 1. Sur Internet : <https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-018-0101-9>.

Wessler, Sarah (2021). « Climate change increases renters' risks. Yale Climate Connections ». Sur Internet : <https://yaleclimateconnections.org/2021/05/climate-change-increases-renters-risks/>.

Withy, Patrick, Van A. Lantz et Thomas O. Ochuodho (2016). « Economic costs and impacts of climate-induced sea-level rise and storm surge in Canadian coastal provinces: a CGE approach », *Applied Economics*, vol. 48, n° 1, p. 59-71. Sur Internet : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00036846.2015.1073843>.

Ziolecki, Anna, Jason Thistlethwaite, Daniel Henstra et Daniel Scott (2020). « Canadian Voices on Flood Risk 2020: Findings from a national survey about how we should manage an increasingly costly and common peril ». Partners for Action, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario). Sur Internet : https://uwaterloo.ca/partners-for-action/sites/ca.partners-for-action/files/uploads/files/finalreport_national_survey_sept20.pdf.

REMERCIEMENTS

Auteurs

Ryan Ness, directeur, Adaptation, Institut canadien pour des choix climatiques

Dylan Clark, associé de recherche principal, Institut canadien pour des choix climatiques

Julien Bourque, associé de recherche, Institut canadien pour des choix climatiques

Dena Coffman, assistante de recherche, Institut canadien pour des choix climatiques

Dale Beugin, vice-président, Recherche, Institut canadien pour des choix climatiques

Groupe d'experts pour le rapport du comité Adaptation

Jean Andrey, doyenne de la Faculté de l'environnement, Université de Waterloo

Alain Bourque, directeur général, Ouranos

Bernadette Conant, directrice générale, Réseau canadien de l'eau

Blair Feltmate, président, Centre Intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo

Brian Horton, directeur, Centre de recherche sur les changements climatiques, Université du Yukon

Réviseurs externes

Brian Mills, climatologue appliqué, Environnement et Changement climatique Canada

Roger Street, associé de recherche, Institut des changements environnementaux, Université d'Oxford

Équipe de consultants en recherche

Brent Boehlert, Industrial Economics, Inc.

James Neumann, Industrial Economics, Inc.

Jason Price, Industrial Economics, Inc.

Charles Fant, Industrial Economics, Inc.

Paul Chinowsky, Resilient Analytics et Université du Colorado à Boulder

Jacob Helman, Resilient Analytics

Kenneth Strzepek, Industrial Economics, Inc. et Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Jacqueline Willwerth, Industrial Economics, Inc.

Brianne Riehl, Navius Research

Brett Zuehlke, Navius Research

Aurora Marstokk, Navius Research

Jotham Peters, Navius Research

Aide à la production

Conception et mise en page : Laurie Barnett, designer graphique

Révision : Edith Sans Cartier (français); Julie Stauffer, Cadmium Red Communications (anglais)

Présentation des données par Voilà : chezVoila.com

Traduction : Edgar (texte du rapport) et Sabine Monnin (figures)

Design de la page couverture : Alex Wittholz

Avis de non-responsabilité

Ce rapport est le résultat d'un processus collaboratif impliquant le personnel et des experts de l'Institut canadien pour des choix climatiques, des examinateurs externes et des intervenants consultés. Il ne reflète pas nécessairement les points de vue des personnes ou des organisations qui ont fourni des commentaires. Toute erreur potentielle dans ce rapport est imputable à l'Institut.

Copyright © 2021 Institut canadien pour des choix climatiques

Tous droits réservés. Il est permis de reproduire tout ou partie de cette publication à des fins non commerciales, pour autant que la source soit citée.

Citation recommandée

Ness, Ryan, Dylan G. Clark, Julien Bourque, Dena Coffman, and Dale Beugin. *Submergés : Les coûts des changements climatiques pour les infrastructures au Canada. 2021*. Institut canadien pour des choix climatiques. Ottawa (Ontario).

ISBN: 978-1-7779017-0-7

Ce projet a été réalisé avec le soutien financier de :



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada

D'AUTRES PUBLICATIONS DE L'INSTITUT



LA POINTE DE L'ICEBERG :

Composer avec les coûts connus et inconnus des changements climatiques au Canada



LES COÛTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LA SANTÉ :

Comment le Canada peut s'adapter, se préparer et sauver des vies



VERS UN CANADA CARBONEUTRE :

S'inscrire dans la transition globale



BALISER LE CHEMIN :

Légiférer nos objectifs climatiques vers 2050



11 FAÇONS DE MESURER LA CROISSANCE PROPRE :

Ouvrir la voie à la prospérité tout en progressant sur la question des changements climatiques et sur nos objectifs économiques et sociaux