



Renforcer la résilience climatique des infrastructures canadiennes :

UNE REVUE DE LA LITTÉRATURE POUR
ÉCLAIRER LA VOIE À SUIVRE

IISD RAPPORT



© 2021 International Institute for Sustainable Development
Publié par l'Institut international du développement durable

Cette publication est sous licence [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

L'Institut international du développement durable

L'Institut international du développement durable (IISD) est un laboratoire d'idées indépendant et primé qui vise à accélérer le développement de solutions pour parvenir à un climat stable, à la gestion durable des ressources et à des économies équitables. Nos travaux inspirent de meilleures décisions et suscitent la prise de mesures concrètes pour aider les gens et la planète à prospérer. Nous mettons en lumière ce qui peut être réalisé grâce à la collaboration entre les gouvernements, les entreprises, les organismes sans but lucratif et les communautés. Le personnel de l'IISD fort de plus de 120 membres, et ses quelque 150 associé(e)s et consultant(e)s viennent du monde entier et leur formation couvre maintes disciplines. Avec des bureaux à Winnipeg, Genève, Ottawa et Toronto, notre travail touche des vies dans près de 100 pays.

L'IISD est un organisme de bienfaisance enregistré au Canada, et visé par l'alinéa 501(c)(3) de l'Internal Revenue Code des États-Unis. Il bénéficie de subventions de fonctionnement de base de la province du Manitoba. En outre, des fonds de projets lui sont accordés par divers gouvernements, tant au Canada qu'à l'étranger, des organismes des Nations Unies, des fondations, le secteur privé et des particuliers.

Renforcer la résilience climatique des infrastructures canadiennes : Une revue de la littérature pour éclairer la voie à suivre

juillet 2021

Darren Swanson, Associé de l'IISD / Novel Futures Corporation
Deborah Murphy, Associée principal de l'IISD
Jennifer Temmer, Expert-conseil indépendant
Todd Scaletta, Novel Futures Corporation

Photo de couverture : Aditya Chinchure / Unsplash

Ce projet a été rendu possible par le gouvernement du Canada.

Canada 

Siège

111 Lombard Avenue, Suite 325
Winnipeg, Manitoba
Canada R3B 0T4

Tel: +1 (204) 958-7700

Website: www.iisd.org

Twitter: [@IISD_news](https://twitter.com/IISD_news)



Avant-propos

Ce rapport a été rédigé par l'International Institute for Sustainable Development (IISD) pour Infrastructure Canada. Il passe en revue la documentation actuelle sur les dangers, les répercussions et les options d'adaptation liés aux changements climatiques pour six types d'infrastructure bâtie au Canada et examine le rôle complémentaire des solutions d'infrastructure naturelle dans le renforcement de la résilience aux changements climatiques. Le rapport examine les politiques, les guides, les normes, les codes et les programmes de financement existants au niveau fédéral au Canada qui éclairent et encouragent les infrastructures, tant construites que naturelles, résilientes aux changements climatiques. Des exemples internationaux de politiques, de principes et d'outils qui peuvent éclairer les efforts du Canada sont mis en évidence. Le document se termine en attirant l'attention sur la nécessité d'agir davantage dans des domaines tels que l'augmentation de la disponibilité des outils d'évaluation et de planification, l'approfondissement des connaissances sur les approches de renforcement de la résilience, l'amélioration du suivi et de l'entretien des infrastructures, la diversification des sources de financement et la facilitation de l'intégration des solutions d'infrastructure bâtie et naturelle.

Remerciements

L'IISD et les auteurs tiennent à remercier Infrastructure Canada pour son soutien financier et les commentaires techniques fournis par Chad Nelson, Daniella Echeverría, Catherine Bulman et Claire O'Manique qui ont permis la rédaction de ce rapport. Nous remercions également les représentants d'Environnement et Changement climatique Canada, d'Infrastructure Canada, du Conseil national de recherches du Canada, de Ressources naturelles Canada, de Parcs Canada, de Services publics et Approvisionnement Canada, du Conseil canadien des normes, de Transports Canada et du Conseil du Trésor pour l'examen informel de ce rapport; Jo-Ellen Parry (IISD) pour ses commentaires sur le contenu; Savannah Sarosiak-Larter pour sa recherche de base; Catherine Burge (IISD) pour son soutien à l'élaboration des infographies accompagnant le rapport; et Elise Epp (IISD) pour son travail de conception sur ce rapport et ses infographies.



Sommaire

Il n'est plus possible de s'appuyer sur les paramètres climatiques du passé pour prendre des décisions relatives à l'entretien des infrastructures existantes et à la construction de nouvelles infrastructures. Le climat du Canada a changé et continuera de changer, entraînant des changements connexes dans les niveaux de précipitations, les niveaux de la mer, la couverture de glace de mer, le recul glaciaire, la vitesse du vent et la stabilité du pergélisol (Bush et Lemmen, 2019). Le Canada a déjà constaté une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes comme les inondations, les feux de forêt et les tempêtes de neige, qui ont des répercussions coûteuses sur les vies humaines, les économies et les écosystèmes. Ces changements ont des répercussions évidentes sur l'infrastructure bâtie et naturelle du Canada.

Le présent rapport vise à sensibiliser et à éclairer une approche intégrée et globale de la société pour rendre les infrastructures de tout le Canada résilientes aux changements climatiques. Rédigé à l'intention des propriétaires d'infrastructures, des concepteurs, des constructeurs, des exploitants, des investisseurs, des décideurs et des intervenants, il donne un aperçu des progrès substantiels des efforts visant à accroître la résilience climatique des infrastructures canadiennes depuis que l'International Institute for Sustainable Development a publié son rapport de 2013 intitulé *Climate Change Adaptation and Canadian Infrastructure* (Boyle et al., 2013). Le présent rapport compile les informations disponibles sur les impacts et les dangers du changement climatique pour les infrastructures canadiennes, tant d'un point de vue régional que pour six types d'infrastructures bâties. Des exemples illustratifs de solutions techniques actuelles pour faire face à ces risques sont également présentés. De plus, il résume l'éventail des solutions d'infrastructures naturelles qui sont disponibles pour améliorer la résilience des collectivités face au changement climatique. Pour mieux comprendre les mesures prises pour améliorer la résilience climatique des infrastructures canadiennes, le rapport fait la synthèse d'une série de politiques, de lignes directrices et de financements actuellement mis en œuvre au niveau fédéral et international pour informer sur les infrastructures résilientes au changement climatique et les encourager. Il n'a pas été possible, dans le cadre du présent rapport, de procéder à un examen exhaustif du vaste éventail de politiques, de lignes directrices et de mécanismes de financement mis en œuvre par les provinces, les territoires, les municipalités et les collectivités autochtones.

L'examen a permis d'identifier une série de dangers et d'impacts climatiques qui présentent des risques pour différents types d'infrastructures canadiennes. Ils sont décrits en détail à la section 3.2 et illustrés par des exemples dans le tableau ES1, notamment :

- **Infrastructures de transport terrestre :** Ramollissement et orniérage des routes en raison de vagues de chaleur plus fréquentes et d'une saison de la route des glaces plus courte en raison du réchauffement.



- **Bâtiments** : Menaces sur l'intégrité des fondations des bâtiments, car les augmentations saisonnières de température dégradent le pergélisol, entraînant des affaissements et des gauchissements.
- **Infrastructures d'approvisionnement en eau** : Réduction des sources d'eau potable en raison de la fréquence accrue des sécheresses.
- **Infrastructures d'eaux usées et d'eaux pluviales** : Infrastructures d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales débordées, l'évolution du régime des précipitations augmentant l'intensité des fortes averses et des inondations.
- **Infrastructures maritimes** : Dommages aux ports et aux infrastructures côtières, car le niveau de la mer augmente et les ondes de tempête accentuent l'érosion.
- **Infrastructures énergétiques et technologies de l'information et de la communication (TIC)** : Des coupures de courant plus fréquentes, car les tempêtes hivernales et les vents violents compromettent les lignes électriques, et une surchauffe potentielle des centres de données due à l'augmentation des températures et aux vagues de chaleur.

Ces phénomènes peuvent se produire individuellement, mais peuvent aussi entraîner des défaillances en cascade des infrastructures en raison de l'interconnexion de nombreux systèmes et des risques climatiques qui leur sont associés (Conseil des académies canadiennes, 2019).

Les experts du secteur recommandent trois catégories d'options pour améliorer la résilience climatique des infrastructures : la planification et l'évaluation, la surveillance et l'entretien, et les modifications de structure. Un premier ingrédient essentiel observé dans la littérature est la planification et l'évaluation éclairées par le changement climatique. Les actions associées comprennent la réalisation d'évaluations des risques climatiques à l'aide de méthodologies reconnues, ainsi que le choix de l'emplacement et la conception des infrastructures en fonction des projections de changement climatique. L'amélioration de la surveillance et de l'entretien est un autre aspect essentiel des infrastructures résilientes au changement climatique, notamment en ce qui concerne l'accumulation de neige et de glace et les mouvements des fondations causés par la fonte du pergélisol. Le troisième ingrédient essentiel concerne les modifications de structure qui peuvent accroître la résilience des éléments d'infrastructure. Voici quelques exemples de changements de structure qui favorisent la résilience climatique :

- **Infrastructures de transport terrestre** : Par exemple, l'utilisation de géotextiles pour la résilience au pergélisol, l'augmentation de la capacité des ponceaux pour gérer l'augmentation des précipitations et de la fonte des neiges, et l'utilisation de haies d'arbres pour protéger les routes de l'accumulation de neige et des vents violents.
- **Bâtiments** : Par exemple, des toits verts pour gérer l'augmentation des températures et les vagues de chaleur et l'installation de clapets anti-retour et de pompes de puisard pour réduire les inondations dues à l'augmentation des précipitations.



- **Infrastructures d’approvisionnement en eau** : Par exemple, augmentation du stockage et de la rétention des eaux de surface et souterraines pour la gestion de la sécheresse, y compris les zones humides construites, les jardins de pluie et les systèmes de biorétention.
- **Infrastructures liées aux eaux usées et aux eaux pluviales** : Par exemple, augmentation de la capacité de drainage, déblaiement des débris de ponceaux et utilisation de revêtements perméables dans les zones urbaines pour mieux gérer les tempêtes plus intenses.
- **Infrastructures maritimes** : Par exemple, des infrastructures surélevées, des bâtiments flottants, des dunes, des marais salants et des forêts marines pour se protéger contre les ondes de tempête et l’élévation du niveau de la mer.
- **Infrastructures énergétiques et TIC** : Par exemple, fortification contre les inondations en surélevant les sous-stations et les composants électriques, en enterrant les lignes de distribution et en utilisant des micro-réseaux pour la protection et la redondance contre les tempêtes d’été et d’hiver, ainsi qu’en augmentant la capacité de refroidissement des centres de données pour faire face à des températures plus élevées.

Les infrastructures naturelles sont également en train de devenir une option courante pour améliorer la résilience des infrastructures bâties et des collectivités. Au Canada, une gamme variée de solutions d’infrastructure naturelle a été utilisée pour faire face aux dangers climatiques, notamment les marais salés et les forêts maritimes pour lutter contre les inondations côtières; les zones humides et les zones tampons riveraines pour lutter contre les inondations fluviales; les revêtements perméables et les bassins de rétention pour améliorer la gestion des eaux pluviales urbaines et rurales; et les toits verts et les arbres pour accroître la résilience à la chaleur extrême dans les villes. Ces solutions fondées sur la nature génèrent également une série d’avantages connexes, tels que l’habitat de la biodiversité, la séquestration du carbone, les loisirs, la purification de l’eau et le bien-être mental. Des études montrent que les infrastructures naturelles sont rentables et constituent souvent une utilisation plus efficace des fonds que le recours exclusif aux infrastructures construites pour s’adapter au changement climatique et accroître la résilience. Cependant, les infrastructures naturelles peuvent également être touchées par divers dangers climatiques, et leur propre résilience doit donc être assurée par la planification et l’évaluation, les changements structurels, ainsi que la surveillance et l’entretien permanents.

Une gamme variée de stratégies, de politiques, de guides, de normes, de codes et de programmes de financement ont vu le jour au niveau fédéral au Canada afin de contribuer aux efforts d’adaptation des infrastructures. Bon nombre de ces initiatives ont été menées par Infrastructure Canada. Par exemple, il a créé un guide d’évaluation de la résilience climatique des infrastructures qui est une exigence pour certains mécanismes de financement fédéraux. Pour élaborer de nouvelles données, lignes directrices, normes et codes de conception pour le climat futur, Infrastructure Canada a financé l’Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base (2016 à 2021), dirigée par le Conseil national de recherches, et a collaboré avec le Conseil canadien des normes. Infrastructure



Canada soutient également les projets d'infrastructures publiques résilientes au climat dans le cadre du volet vert du Programme d'infrastructure Investir dans le Canada et du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes, ainsi que le renforcement des capacités par le biais des programmes Municipalités pour l'innovation climatique et Gestion des actifs municipaux mis en œuvre par la Fédération canadienne des municipalités.

Bien qu'un certain nombre de mesures aient été prises pour accroître la résilience climatique des infrastructures, **des efforts et des investissements plus importants sont nécessaires pour que les infrastructures vieillissantes du Canada puissent suivre l'accélération du changement climatique et combler le déficit d'infrastructures**. On estime que le déficit d'infrastructure au Canada se situe entre 150 milliards et 1 billion de dollars canadiens, et de façon critique, le déficit dans les seules infrastructures des Premières Nations est estimé entre 25 et 30 milliards de dollars canadiens (Conseil consultatif en matière de croissance économique, 2016). Ces statistiques sont particulièrement urgentes à la lumière des résultats de la fiche de rapport 2019 sur les infrastructures canadiennes, qui conclut qu'un "nombre préoccupant d'infrastructures municipales sont en mauvais ou en très mauvais état" (BluePlan Engineering, 2019, p. 9). Comme les actifs d'infrastructure ont une longue durée de vie, il est important que les décisions prises tout en comblant cet écart soient tournées vers l'avenir, en reconnaissant que les infrastructures résilientes au climat renforcent la résilience des collectivités à long terme. Pour atteindre cet objectif, il faut redoubler d'efforts dans des domaines tels que l'utilisation accrue des évaluations des risques climatiques et des projections climatiques pour la conception des infrastructures, ainsi que l'élaboration et l'utilisation de codes de construction actualisés et de solutions d'infrastructures naturelles. Pour financer ces changements, il est nécessaire d'aller au-delà des mécanismes de financement fédéraux-provinciaux-territoriaux afin de tirer parti du plein potentiel de la finance durable et de l'investissement en fonction du risque dans les secteurs public, privé et coopératif/mutuel. Dans le contexte de la pandémie actuelle, alors que les dépenses publiques sont mises à rude épreuve, il est essentiel d'assurer une valeur maximale aux investissements dans l'infrastructure, un sentiment reflété par les nombreux appels à une « reprise verte » lancés par des groupes tels que le Groupe de travail pour une reprise résiliente (2020) et l'Association canadienne de la construction (2021).

Les avantages d'agir maintenant sont importants. Le Conseil des académies canadiennes, en plus de classer les dommages aux infrastructures physiques comme le risque climatique le plus important au Canada, a souligné que l'infrastructure est le premier secteur pour le potentiel de résilience climatique au Canada, mesuré par la proportion de dommages qui peuvent être évités grâce à des politiques et des programmes d'adaptation. Les preuves de ce classement sont nombreuses. Par exemple, le rapport avantages-coûts des lignes directrices nationales du Canada sur la résistance des bâtiments aux inondations est estimé à 11:1 (Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2020). De manière cruciale, combler le déficit d'infrastructures au Canada entraîne également un effet multiplicateur pour l'économie de 1,7 (Globe Capital, 2017).



Une approche intégrée de l'ensemble de la société est essentielle pour renforcer la résilience des systèmes d'infrastructure interconnectés du Canada. Pour tirer des leçons des expériences internationales et - compte tenu de la complexité de la responsabilité conjointe des infrastructures au Canada - pour planifier et investir dans des infrastructures résilientes, il faudra nécessairement adopter une approche intégrée et axée sur l'ensemble de la société, en tirant parti de la créativité et de l'agence des pratiques professionnelles interdisciplinaires, des systèmes de savoirs autochtones et des partenariats fédéraux-provinciaux-territoriaux et publics-privés. Étant donné qu'au Canada, les infrastructures sont détenues, exploitées et utilisées par des particuliers, des entreprises et des gouvernements à tous les niveaux, il est essentiel que tous ces intervenants participent à la construction d'infrastructures résilientes au climat pour un Canada durable et prospère.

Tableau ES1. Dangers climatiques, impacts et options de résilience pour les infrastructures bâties du Canada

Type d'infrastructure	Danger climatique	Exemples d'impacts sur les infrastructures	Exemples d'options en matière résilience
Transport terrestre	Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> Ramollissement, orniérage et ressuage de la chaussée Dilatation thermique des rails (gauchissement) 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser des mélanges de revêtements tolérants à la chaleur Utiliser des revêtements de rails à faible absorption solaire
	Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> Risque accru d'événements critiques (par exemple, les lavages) Accrétion accrue de glace sur les ponts à haubans 	<ul style="list-style-type: none"> Augmenter la capacité des ponceaux Utilisation de revêtements de câbles pour évacuer la glace accrétée
	Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> Saison hivernale raccourcie pour les routes de glace Instabilité des sols et des pentes, ainsi que mouvements et tassements du sol 	<ul style="list-style-type: none"> Transformer les routes de glace en routes toutes saisons Installer des géotextiles
	Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> Chaussées, ponts et routes de basse altitude inondés ou endommagés 	<ul style="list-style-type: none"> Construire des enrochements et des digues
	Vents forts	<ul style="list-style-type: none"> Routes, ponts et voies ferrées bloqués à cause de débris ou de la neige 	<ul style="list-style-type: none"> Actualiser les normes relatives à la gestion de la végétation (par exemple, planter différentes espèces d'arbres le long des routes)



Type d'infrastructure	Danger climatique	Exemples d'impacts sur les infrastructures	Exemples d'options en matière de résilience
Bâtiments	Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la température de l'air intérieur et recours aux systèmes de refroidissement Vieillesse accélérée des matériaux de construction 	<ul style="list-style-type: none"> Améliorer les systèmes de ventilation et installer des stores aux fenêtres Installer des matériaux thermiquement réfléchissants pour la couverture et les façades des bâtiments
	Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation du risque d'inondation des structures Effondrement des toits dû à des charges de neige plus importantes sur les toits 	<ul style="list-style-type: none"> Installer des clapets anti-retour, des pompes de puisard; réaménager les zones sans constructions dans les zones d'inondations à haut risque Rénovation des structures à risque selon des normes plus strictes
	Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> Dommages causés aux fondations et aux bâtiments par les changements dans les cycles de gel/dégel et l'assèchement des sols 	<ul style="list-style-type: none"> Choisir des granulats de mélange de béton qui se comportent mieux dans les cycles de gel/dégel.
	Détérioration du pergélisol	<ul style="list-style-type: none"> Les affaissements et les flambages peuvent endommager les fondations Perte de solidité du bâtiment 	<ul style="list-style-type: none"> Améliorer la ventilation et les poteaux structurels ajustables Meilleures pratiques de conception pour les fondations
	Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> Érosion compromet l'intégrité des fondations Augmentation de la corrosion des métaux 	<ul style="list-style-type: none"> Structures de protection/digues/digues de sécurité Composants de produits métalliques présentant une résistance accrue à la corrosion
	Vents forts	<ul style="list-style-type: none"> Perte de couverture de toit Débris transportés par le vent peuvent briser les fenêtres et endommager les extérieurs. 	<ul style="list-style-type: none"> Renforcer les toits / sangles anti-ouragan et fixations supplémentaires Installer un verre résistant aux chocs
Infrastructure d'approvisionnement en eau	Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> Des coupures de courant dues aux tempêtes affectant les stations de pompage Réduction de l'intégrité structurale et/ou accélération de la détérioration des barrages 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentations de secours améliorées et redondantes Adopter des adaptations structurelles aux barrages, déversoirs et canaux de drainage
	Détérioration du pergélisol	<ul style="list-style-type: none"> Rupture de conduites d'eau et de réservoirs de stockage 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation d'une isolation en polystyrène sous les routes
	Ondes de tempête et élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> Inondation des infrastructures de la station d'épuration 	<ul style="list-style-type: none"> Murs de mer, digues, murs de protection contre les inondations, levées, barrières locales contre les surtensions, etc.
	Sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de la source d'eau potable Fissuration des barrages en terre, augmentant le risque d'inondation 	<ul style="list-style-type: none"> Gestion de la demande et utilisation des infrastructures naturelles Adaptations structurelles des barrages, déversoirs et canaux de drainage



Type d'infrastructure	Danger climatique	Exemples d'impacts sur les infrastructures	Exemples d'options en matière de résilience
Infrastructure des eaux usées et des eaux pluviales	Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> La température plus élevée des cours d'eau et la diminution de leur débit conduisent à des affluents plus concentrés, plus difficiles à désinfecter 	<ul style="list-style-type: none"> Appliquer des solutions d'infrastructure naturelle (toits verts, forêts urbaines) pour augmenter la capacité d'assimilation des cours d'eau récepteurs
	Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> Dépassement des systèmes d'eaux pluviales/drainage 	<ul style="list-style-type: none"> Augmenter la capacité des systèmes d'eaux pluviales et drainage Réduire ou verdir les surfaces imperméables (par exemple, les toits, les aires de stationnement)
	Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la fréquence, de la durée et de la gravité des fissures thermiques et de l'orniérage 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser des matériaux à changement de phase pour réduire le nombre de cycles de congélation/décongélation
	Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> Structures endommagées ou inondées qui réduisent l'efficacité du traitement 	<ul style="list-style-type: none"> Solutions d'infrastructures hybrides construites et naturelles (par exemple, bermes en terrasses, cloisons, rechargement des plages, brise-lames en mer)
Infrastructure maritime	Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité des sols et des pentes et mouvements/écoulements de terrain causés par la fonte du pergélisol 	<ul style="list-style-type: none"> Des remblais plus épais et une nouvelle conception des infrastructures adaptées aux environnements de pergélisol
	Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> Inondation des ports et autres infrastructures côtières Augmentation des dommages causés par les vagues aux quais et autres structures d'amarrage 	<ul style="list-style-type: none"> Intégrer les considérations relatives aux inondations dans la conception des bâtiments et des infrastructures Restaurer activement l'habitat du littoral (c'est-à-dire les dunes, les marais salés)
	Changements de la glace de mer	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation du trafic maritime dans les eaux arctiques en raison de la diminution de la glace de mer accroît la demande de ports nordiques 	<ul style="list-style-type: none"> Prévision de la demande et planification de la navigation et des installations portuaires dans l'Arctique
	Fluctuations du niveau des eaux intérieures	<ul style="list-style-type: none"> Baisse des niveaux d'eau entraînant une réduction de la capacité des navires 	<ul style="list-style-type: none"> Investir dans des technologies d'augmentation du débit, et augmenter le dragage des canaux



Type d'infrastructure	Danger climatique	Exemples d'impacts sur les infrastructures	Exemples d'options en matière résilience
Énergie et technologies de l'information des communications (TIC)	Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • Surchauffe dans les centres de données TIC, les centraux, les stations de base • Les fluctuations du niveau d'eau et les sols plus secs peuvent accroître l'érosion interne des barrages en remblai 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter la capacité du système de refroidissement • Amélioration de la surveillance et de la gestion de la sécurité des barrages
	Augmentation des températures saisonnières entraînant la détérioration du pergélisol et modifiant les cycles de gel et de dégel	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des fondations des pylônes de transmission et dommages aux voûtes souterraines et aux chambres de câbles 	<ul style="list-style-type: none"> • Modifier la conception des structures pour permettre l'ajustement des tours en cas de déplacement dû au dégel du pergélisol
	Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations de centrales et de sous-stations de production d'énergie et problèmes de performance des vannes de déversement des barrages • Dommages aux câbles en cuivre et en fibre optique 	<ul style="list-style-type: none"> • Surélever les sous-stations et les composants de l'infrastructure électrique et améliorer la surveillance et la gestion de la sécurité des barrages • Enterrer les lignes de transmission et de distribution
	Tempêtes d'hiver, tempêtes de verglas, tempêtes de vent à grande vitesse	<ul style="list-style-type: none"> • Lignes électriques cassées, poteaux électriques cassés ou tombés, accumulation de glace sur les pales des éoliennes 	<ul style="list-style-type: none"> • Enterrer les lignes de distribution • Installer des microréseaux pour permettre aux collectivités de fonctionner avec des sources secondaires en cas de défaillance des réseaux centraux
	Feux de forêt	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages et/ou destruction de lignes et de poteaux de transmission • Conducteurs recuits ou endommagés 	<ul style="list-style-type: none"> • Enterrer le réseau électrique pour éviter les dommages causés par la chaleur extrême et le feu • Débarrasser les zones sujettes aux incendies des broussailles



Table des matières

1.0 Introduction	1
2.0 Orienter la discussion	6
2.1 Compréhension conceptuelle de la résilience climatique	7
2.2 Systèmes de connaissances et pratique professionnelle	10
2.3 Rôles complémentaires des infrastructures bâties et naturelles	11
3.0 Les dangers, les impacts et les adaptations liés aux changements climatiques pour les infrastructures au Canada	14
3.1 Répercussions des changements climatiques sur les infrastructures au Canada	15
3.2 Impacts des changements climatiques et adaptation des infrastructures construites.....	19
3.2.1 Infrastructures de transport terrestre.....	20
3.2.2 Bâtiments.....	22
3.2.3 Infrastructure d’approvisionnement en eau	25
3.2.4 Infrastructures liées aux eaux usées et aux eaux pluviales	26
3.2.5 Infrastructure maritime	28
3.2.6 Infrastructures énergétiques et TIC	31
3.3 Solutions d’infrastructure naturelle	35
4.0 Politiques, pratiques et financement à l’appui des infrastructures résilientes aux changements climatiques	41
4.1 Politiques, cadres, stratégies et plans	43
4.1.1 Mesures stratégiques fédérales.....	43
4.1.2 Initiatives fédérales de renforcement des connaissances et des capacités.....	46
4.1.3 Politiques et initiatives internationales.....	47
4.2 Pratiques, guides, normes et codes	50
4.2.1 Développements au niveau fédéral.....	51
4.2.2 Lignes directrices, pratiques, normes et codes internationaux.....	55
4.3 Financement d’infrastructures résilientes au climat.....	58
4.3.1 Mesures fédérales.....	58
4.3.2 Programmes internationaux	64
5.0 Conclusions	66
Références	71
Annexe 1. L’infrastructure des systèmes de transports terrestre : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience	95
Annexe 2. Bâtiments : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience	98
Annexe 3. L’infrastructure d’approvisionnement en eau : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience	103



Annexe 4. L'infrastructure de traitement des eaux usées et des eaux pluviales : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience.....	106
Annexe 5. L'infrastructure maritime : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience.....	109
Annexe 6. L'infrastructure énergétique et des TIC : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience.....	112

Liste des figures

Figure 1. Cadre des risques décrit dans le 5e rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.....	9
Figure 2. Le changement climatique au Canada : Changements prévus au cours du siècle.....	15
Figure 3. L'infrastructure naturelle et des solutions hybrides pour accroître la résilience climatique dans les zones urbaines.....	36
Figure 4. IRCCIPB du gouvernement du Canada.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résiliences pour les systèmes de transport terrestre.....	22
Tableau 2. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour les bâtiments.....	24
Tableau 3. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure d'approvisionnement en eau.....	26
Tableau 4. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure des eaux usées et des eaux pluviales.....	28
Tableau 5. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure maritime.....	31
Tableau 6. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure énergétique et des TIC.....	34
Tableau 7. Solutions d'infrastructure naturelle pour réduire l'exposition et la vulnérabilité aux dangers liés aux changements climatiques.....	39
Tableau 8. Exemples de programmes de financement fédéraux qui appuient les infrastructures résilientes aux changements climatiques.....	59
Tableau 9. Exemples de mécanismes de financement du gouvernement du Canada qui peuvent soutenir des infrastructures résilientes aux changements climatiques.....	61



Abréviations

ACE	Association canadienne de l'électricité
BAC	Bureau de l'assurance du Canada
BIC	Banque de l'infrastructure du Canada
BNURRC	Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes
BRIC	Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes
CAC	Conseil des académies canadiennes
CCCE	Conseil consultatif en matière de croissance économique
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
CCN	Conseil canadien des normes
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CDRI	Coalition for Disaster Resilient Infrastructure
CE	Commission européenne
CIS	Conseil international de la science
CMA	Commission mondiale sur l'adaptation
CNI	Commission nationale des infrastructures
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CPCPCC	Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques
CRI	Climate Risk Institute
CSA	Association canadienne de normalisation
CVIIP	Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EPA	Agence américaine de protection de l'environnement
FAAC	Fonds d'adaptation et d'atténuation des catastrophes
FCM	Fédération canadienne des municipalités
G20	Groupe des vingt
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat



GTDFC	Groupe de travail sur les divulgations financières liées au climat
ICCC	Institut canadien sur les choix climatiques
IPSC	Institut de prévention des sinistres catastrophiques
IRCCIPB	Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base
ISI	Institute for Sustainable Infrastructure
ISO	Organisation internationale de normalisation
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectif de développement durable
ONU	Nations Unies
PIIC	Programme d'infrastructure Investir dans le Canada
RCERA	Renforcer la capacité et l'expertise régionale en matière d'adaptation
SER	Système d'évaluation de la résilience
SFDD	Stratégie fédérale de développement durable
SuRe	Norme pour avoir des infrastructures durables et résilientes
TIC	Technologies de l'information et des communications
USACE	U.S. Army Corps of Engineers

An aerial photograph of a wastewater treatment plant. The left side shows several large circular clarifiers with central mechanical scrapers. The right side shows a long row of rectangular aeration tanks with visible white foam on the water surface. A central concrete walkway separates the two sections.

1.0

Introduction

Photo : Ivan Bandura / Unsplash



Les Canadiens ont été témoins d'un nombre croissant d'événements liés au climat au cours de la dernière décennie, depuis les inondations dans le sud de l'Alberta (en 2013) et le sud de l'Ontario et du Québec (en 2018), jusqu'aux feux de forêt dévastateurs à Fort McMurray (en 2016) et dans le sud de la Colombie-Britannique (en 2017), et les tornades dans la région d'Ottawa-Gatineau (en 2019). Ces événements ont déplacé des gens de leur foyer, ont eu des répercussions sur les économies locales et régionales et ont causé des milliards de dollars de dommages aux propriétés publiques et privées. Ces événements s'inscrivent dans une tendance qui a vu le coût des dommages causés par les catastrophes météorologiques comme les inondations, les tempêtes et les feux de forêt augmenter au cours des 50 dernières années [traduction] « de dizaines de millions de dollars à des milliards de dollars par année », avec des pertes assurées découlant d'événements météorologiques catastrophiques totalisant plus de 18 milliards de dollars canadiens entre 2010 et 2019 (Institut canadien sur les choix climatiques [ICCC], 2020, p. 8).

La fréquence et le coût croissants des catastrophes météorologiques démontrent la vulnérabilité de l'infrastructure du Canada et donnent un aperçu des conséquences possibles à court et à long terme des changements climatiques continus. Le Canada s'est réchauffé de 1,7 °C en moyenne entre 1948 et 2016, soit le double du reste du monde (Bush et Lemmen, 2019). La vitesse du réchauffement est encore plus rapide dans le Nord du Canada et les Prairies (Bush et Lemmen, 2019). Les changements constants de la température, de la configuration des précipitations, du niveau de la mer, de la vitesse des vents et de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes ont des répercussions claires sur l'infrastructure bâtie et naturelle du Canada. Par exemple, les pluies torrentielles et les inondations qui perturbent les réseaux de transport, la fonte rapide du manteau neigeux qui a une incidence sur la protection contre les inondations et l'infrastructure des eaux pluviales, la dégradation du pergélisol qui menace l'intégrité des systèmes du bâtiment, l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête qui endommagent les ports et les infrastructures côtières. Individuellement, ces événements peuvent causer des dommages importants, mais ils peuvent aussi entraîner des défaillances en cascade de l'infrastructure (Conseil des académies canadiennes [CAC], 2019).

Compte tenu des effets observés des changements climatiques, il n'est peut-être pas surprenant que **le Comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation ait récemment classé l'infrastructure physique du Canada comme la zone de risque la plus importante au pays**, d'après un examen d'une douzaine de zones de risque climatique importantes (CAC, 2019). Une évaluation du Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (BRIC) a également conclu qu'une grande partie de l'infrastructure publique de base du Canada est « à risque » (BluePlan Engineering, 2019). La nature de ce risque varie considérablement d'un bout à l'autre du Canada, ce qui reflète la diversité de notre climat, de notre géographie et de nos types d'infrastructure.



Les différences socioéconomiques au sein des collectivités et entre elles influent également sur leur niveau de risque. La [traduction] « conception, les matériaux, la taille et l'entretien des systèmes d'infrastructure » peuvent être influencés par le niveau de richesse d'une collectivité, sa capacité d'accéder à la technologie, l'ensemble de ses compétences et sa capacité d'intervention, ce qui contribue à rendre certaines collectivités plus vulnérables aux changements climatiques que d'autres (Boyle et coll., 2013, p. 6). De tels facteurs sociaux interreliés sont des considérations importantes pour les infrastructures résilientes au climat, en particulier pour les collectivités autochtones du Nord, qui sont « exposées à un risque plus grand parce que les changements climatiques drastiques qui touchent le Nord se superposent à une vulnérabilité socioéconomique héritée des politiques colonialistes racistes. » (ICCC, 2020, p. 6).

Dans ce contexte, le Canada a investi 81,6 milliards de dollars canadiens dans des actifs d'infrastructure en 2020, ce qui correspond au niveau d'investissement des quatre années précédentes (Statistique Canada, 2021). Ces investissements sont essentiels pour combler le déficit d'infrastructure du pays, dont les estimations vont de 150 milliards de dollars canadiens à 1 billion de dollars canadiens (Conseil consultatif en matière de croissance économique [CCCE], 2016). Fait important, le CCCE note que le déficit d'infrastructure des Premières Nations à lui seul est estimé entre 25 et 30 milliards de dollars canadiens (CCCE, 2016). Bien qu'un investissement annuel important soit nécessaires pour combler le déficit et répondre aux besoins actuels et croissants du Canada en matière d'infrastructure, on estime que chaque augmentation de 1 % des dépenses d'infrastructure a un effet multiplicateur sur l'économie de 1,7, [traduction] « augmentant la capacité de production, créant des emplois et ouvrant de nouvelles perspectives économiques » (Globe Capital, 2017).

Si le Canada veut minimiser les conséquences négatives des changements climatiques, ces investissements dans des infrastructures nouvelles et modernisées doivent tenir compte des répercussions actuelles et prévues des changements climatiques. En d'autres termes, elles devront être [traduction] « conçues, construites et exploitées de manière à prévoir les changements climatiques, à s'y préparer et à s'y adapter » (Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE], 2018b, p. 4). Comme l'a observé l'OCDE, [traduction] « les infrastructures résilientes au climat ont le potentiel d'améliorer la fiabilité de la prestation de services, d'accroître la durée de vie des actifs et de protéger les rendements des actifs » (OCDE, 2018b, p. 6). Tout en protégeant les vies et les moyens de subsistance, les investissements dans les infrastructures résilientes au climat peuvent également générer des ratios avantages-coûts positifs. Par exemple, une étude récente a démontré que le rapport avantages-coûts des lignes directrices nationales du Canada sur la résistance des bâtiments aux inondations est estimé à 11:1 (Institut de prévention des sinistres catastrophiques [IPSC], 2020)¹. L'adaptation prévue aux

¹ Cette étude du programme Bâtiments et infrastructures publiques de base résilients aux changements climatiques du gouvernement fédéral par l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques a également révélé que la mise en œuvre des lignes directrices et de la norme de l'Interface nationale des zones sauvages urbaines (feux de forêt) et du Code canadien de conception des ponts routiers pourraient avoir des ratios avantages-coûts de 6:1 et 9:1, respectivement (IPSC, 2020). De même, une étude menée en 2017 par le National Institute of Building Sciences a révélé que les États-Unis pourraient économiser 6 \$US en coûts de catastrophes futures pour chaque dollar investi dans l'atténuation des dangers (Multihazard Mitigation Council, 2017).



changements climatiques fera en sorte que les investissements effectués aujourd'hui soient robustes et résilients à long terme et n'accroissent pas la vulnérabilité des Canadiens aux risques climatiques futurs.

En 2013, l'IISD a publié un rapport intitulé « Climate Change Adaptation and Canadian Infrastructure » (« Adaptation aux changements climatiques et infrastructure canadienne ») pour stimuler la discussion sur la nécessité d'assurer la viabilité de l'infrastructure bâtie du Canada face aux changements climatiques (Boyle et coll., 2013). Depuis sa publication, un éventail de nouvelles politiques, de nouveaux programmes, de nouveaux codes, de nouvelles normes et de nouveaux programmes de financement ont été mis en place pour améliorer la résilience climatique des infrastructures au Canada. Au niveau fédéral, par exemple, cela comprend la mise en œuvre des engagements pris en vertu du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques (CPCPCC) visant à « renforcer la résilience climatique au sein des infrastructures »

(gouvernement du Canada, 2016, p. 33). Les mesures découlant de cet engagement comprennent les lignes directrices générales de l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada pour appuyer l'intégration de la résilience climatique dans la conception de nouveaux investissements dans les infrastructures; la création du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (FAAC) pour financer les efforts visant à rendre les infrastructures publiques plus résilientes aux changements climatiques; et la création d'outils, de codes, de normes et de lignes directrices à l'appui des décisions scientifiques dans le cadre de l'Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base (IRCCIPB) du Conseil national de recherches du Canada.

S'appuyant sur le Cadre pancanadien, le plan fédéral de 2020 intitulé « Un environnement sain et une économie saine » décrit les engagements et les initiatives mis à jour en matière de climat pour rendre le Canada plus résilient aux changements climatiques, y compris la création d'une stratégie nationale d'adaptation en collaboration avec les provinces et les gouvernements territoriaux et municipaux (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], 2020). Le gouvernement fédéral s'est également récemment engagé à entreprendre une évaluation nationale de l'infrastructure afin de déterminer les besoins et les priorités à long terme du Canada en matière d'infrastructure (Infrastructure Canada, 2021a).

Le Canada participe aussi activement aux efforts internationaux visant à faire progresser les infrastructures résilientes aux changements climatiques, y compris le Programme d'action du G20 sur l'adaptation et les infrastructures résilientes (G20, 2019), la mise en œuvre du Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe [BNURRC], 2015) et les Objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU (ONU, 2015). De plus, le Canada a récemment codirigé le Plan d'action de la Commission mondiale sur l'adaptation (CMA) axé sur des solutions basées sur la nature, qui a mis en évidence le potentiel des infrastructures naturelles dans les efforts d'adaptation aux changements climatiques (CMA, 2019).



Le présent rapport vise à donner un aperçu de la compréhension actuelle des répercussions et des risques des changements climatiques pour l'infrastructure bâtie et naturelle du Canada, tant d'un point de vue régional que par type d'infrastructure. **Il vise également à synthétiser l'éventail des mesures prises à l'échelle fédérale et internationale pour accroître la résilience climatique du secteur.** Son contenu est fondé sur un examen de la documentation, des rapports et des documents de politique publiés. Le rapport vise à sensibiliser la population et à stimuler la discussion sur la nécessité de veiller à ce que les infrastructures existantes et nouvelles soient résilientes aux changements climatiques afin de soutenir nos collectivités, nos entreprises et nos économies.

Le reste du rapport est structuré comme suit :

- La section 2 traite des questions clés qui encadrent le contenu du rapport, à savoir les concepts liés à la réduction des risques climatiques et à la résilience, le rôle de la pratique professionnelle interdisciplinaire et du savoir autochtone dans la promotion d'une infrastructure résiliente, et le rôle complémentaire des infrastructures bâties et naturelles pour bâtir des collectivités résilientes.
- La section 3 met l'accent sur la façon dont les dangers climatiques pourraient avoir une incidence sur les infrastructures dans différentes régions du Canada avant d'examiner les dangers, les répercussions et les mesures de renforcement de la résilience pour six types d'infrastructure différents, soit le transport terrestre, les bâtiments, l'approvisionnement en eau, l'infrastructure maritime, les eaux usées et pluviales, et les infrastructures énergétiques et technologies de l'information et de la communication (TIC). La section se termine par un résumé des différents types d'infrastructure naturelle qui peuvent être utilisés pour faire face aux dangers climatiques, soit par eux-mêmes, soit en intégration avec l'infrastructure construite.
- La section 4 examine les politiques, les lignes directrices, les pratiques, les normes, les codes et les mécanismes de financement du point de vue fédéral et fait ressortir des exemples internationaux qui peuvent éclairer les efforts du Canada. Bien que les auteurs reconnaissent que les gouvernements provinciaux, territoriaux, municipaux et autochtones du Canada prennent des mesures pour améliorer la résilience des infrastructures aux changements climatiques, le volume même des initiatives a empêché l'examen dans le cadre de la recension des écrits.
- La section 5 conclut le document en fournissant un résumé des principales observations tirées de l'analyse.

2.0

Orienter la discussion



Photo : iStock



Une variété de concepts, de types de connaissances et d’approches éclairent les efforts visant à renforcer la résilience climatique de l’infrastructure. La présente section explore une partie de cette complexité en présentant les concepts qui sous-tendent les efforts visant à renforcer la résilience climatique, le besoin de diverses sources de connaissances pour éclairer les décisions et la reconnaissance croissante du rôle de la nature dans la prestation de certains des services traditionnellement fournis par l’infrastructure bâtie.

2.1 Compréhension conceptuelle de la résilience climatique

Comprendre le risque que posent les changements climatiques pour l’infrastructure du Canada – et les mesures qui peuvent être prises pour contrer ces risques – repose sur une compréhension des concepts clés comme les dangers climatiques, les risques et la résilience, ainsi que les interactions entre eux. Comme l’explique la figure 1, le Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC) définit un danger comme suit : « éventualité d’un phénomène ou d’une tendance physique, naturelle ou anthropique ou d’une incidence physique susceptible d’entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et des pertes matériels touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture des services, les écosystèmes et les ressources environnementales » (GIEC, 2014a, p. 184). Les pertes et les dommages liés au climat peuvent comprendre ceux qui sont associés à des processus progressifs à long terme appelés événements lents à apparaître (comme les sécheresses) ou causés par des événements extrêmes (comme les inondations) (Conseil international de la science [CIS] et BNURRC, 2020, p. 21). Tous ces différents types de dangers liés au climat ont des répercussions sur la sécurité et la fiabilité des infrastructures canadiennes.

Dans le contexte des changements climatiques, on comprend que le **risque** découle « de l’interaction entre des aléas climatiques (y compris les tendances et les phénomènes dangereux) et la vulnérabilité et l’exposition des systèmes anthropiques et naturels », comme l’illustre la figure 1 (GIEC, 2014b, p. 3). Par conséquent, les facteurs de risque découlent à la fois des changements qui se produisent dans notre climat à l’échelle mondiale et locale, et des changements qui se produisent dans nos systèmes socioéconomiques (p. ex. croissance de la population, changements dans les tendances du commerce, etc.). Le document d’orientation de l’OCDE sur les infrastructures résilientes au climat note, par exemple, que les exigences en matière de stockage de l’eau sont influencées par les changements des régimes de précipitations et de consommation (OCDE, 2018a).

Le concept de **résilience** a été défini de plusieurs façons par différents intervenants. Par comparaison à la définition du GIEC présentée à la figure 1, par exemple, la résilience a été définie du point de vue de la réduction des risques de catastrophe comme suit (BNURRC, 2016, p. 22) :



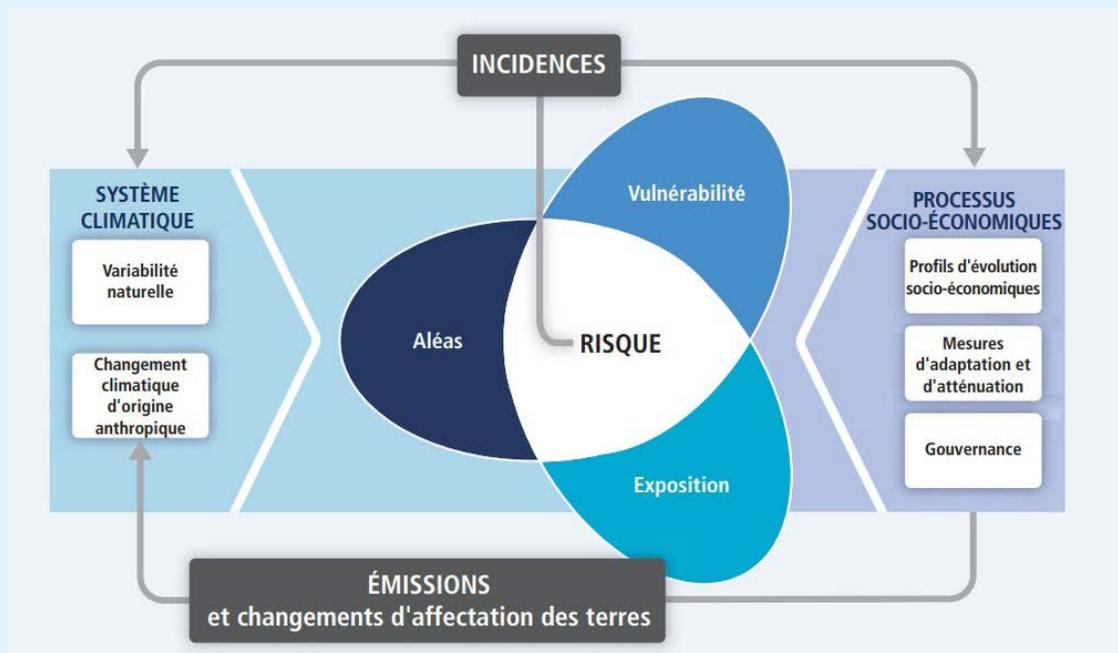
capacité d'un système, d'une collectivité ou d'une société exposée aux risques de résister, d'absorber, d'accueillir et de corriger les effets d'un danger, en temps opportun et de manière efficace, notamment par la préservation et la restauration de ses structures essentielles et de ses fonctions de base par la gestion des risques.

Du seul point de vue de la gestion des risques, l'OCDE définit la résilience comme signifiant que [*traduction*] « les risques ont été pris en compte et gérés pour atteindre un niveau de performance acceptable compte tenu des informations disponibles, et que les capacités de résister aux chocs et de s'en remettre sont en place » (OCDE, 2014a, cité dans OCDE, 2018a, p. 13).

Les **infrastructures résilientes au climat** peuvent donc être considérées comme des infrastructures (bâties ou naturelles) qui sont situées, conçues, bâties et exploitées en tenant compte des changements prévus des conditions climatiques et des risques, afin de s'assurer qu'elles sont en mesure de maintenir leur forme et leur fonctionnement. L'augmentation de la résilience climatique des infrastructures implique donc généralement une combinaison de réponses axées sur (adapté de Boyle et coll., 2013, p. 5) :

- Les **aspects techniques** (p. ex. modifier la conception des infrastructures pour les rendre plus résistantes à l'intensité accrue des inondations)
- Les **aspects politiques et juridiques** (p. ex. nouveaux codes du bâtiment)
- Les **aspects financiers** (p. ex. fonds spécifiques alloués pour soutenir l'entretien de l'infrastructure)
- Les **aspects socioéconomiques** (p. ex. déplacement ou abandon d'infrastructures, changement d'habitudes et de comportements associés à l'utilisation d'infrastructures)
- Les **aspects institutionnels** (p. ex. sensibilisation et renforcement des capacités du secteur des infrastructures en matière d'adaptation aux changements climatiques)

Figure 1. Cadre des risques décrit dans le 5e rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat



Source : GIEC, 2014b

- **Risque** : Éventualité d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturelle ou anthropique ou d'une incidence physique susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et des pertes matériels touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture des services, les écosystèmes et les ressources environnementales.
- **Facteur d'exposition** : Action d'exposer des lieux ou des milieux susceptibles d'être altérés à différents facteurs mettant en cause la présence humaine, les moyens de subsistance, les espèces ou écosystèmes, les fonctions environnementales, les services et ressources, les infrastructures ou encore les biens économiques, sociaux et culturels.
- **Vulnérabilité** : Propension ou prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe divers concepts, notamment les notions de **sensibilité** ou de fragilité et d'**incapacité de faire face et de s'adapter**.
- **Résilience** : Capacité de résistance d'un système socioécologique face à une perturbation ou un événement dangereux, permettant à celui-ci d'y répondre ou de se réorganiser de façon à conserver sa fonction essentielle, son identité et sa structure, tout en gardant ses facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.



2.2 Systèmes de connaissances et pratique professionnelle

La complexité des changements climatiques, combinée à la diversité des types d'infrastructures situées dans différentes régions géographiques et systèmes sociaux, politiques et économiques, signifie que différentes sources de connaissances et d'expertise sont nécessaires pour comprendre les risques climatiques et y réagir. Des gens de différentes disciplines et ayant des expériences différentes devront se réunir pour bien comprendre la nature du défi et les solutions possibles.

Sur le terrain, la **mise en œuvre d'une infrastructure résiliente sera fondamentalement guidée par un mélange de pratiques professionnelles**, publiques et privées, y compris des ingénieurs, des architectes, des architectes paysagistes, des planificateurs, des climatologues, des hydrologues, des évaluateurs de risques, des experts en comptabilité et en finances, des entrepreneurs et du personnel opérationnel. Il faudra une plus grande capacité de planification et de pratique interdisciplinaires dans l'ensemble de ces professions pour accroître la résilience des infrastructures aux changements climatiques. Cela exigera une connaissance accrue de la vulnérabilité aux changements climatiques, des répercussions et des options d'adaptation. Des efforts à cet égard ont été entrepris dans diverses disciplines. Par exemple, Ingénieurs Canada a créé en 2005 le Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP), qui a publié en 2008 son protocole de pratique professionnelle pour l'évaluation des risques liés à la vulnérabilité climatique des infrastructures, et a lancé en 2015 la désignation de professionnel de la résilience des infrastructures (IPSC et Climate Risk Institute [CRI], 2021).

Fait important, le **savoir autochtone doit jouer un rôle clé dans la conception et la mise en œuvre d'infrastructures résilientes** partout au Canada. Les Premières Nations, les Métis et les Inuits sont à l'avant-garde des répercussions des changements climatiques au Canada, ils se sont longtemps adaptés aux changements des conditions environnementales et ils ont déjà joué un rôle de chef de file en matière de changements climatiques grâce à des initiatives d'atténuation et d'adaptation (ICCC, 2020; gouvernement du Canada, 2020). Les systèmes de connaissances autochtones sont cumulatifs, dynamiques et adaptatifs, interreliés avec les connaissances personnelles, communautaires et nationales/culturelles, une « façon d'être » qui est plus vaste que les connaissances écologiques particulières (Cappell, 2019). L'intégration des systèmes de connaissances autochtones dans les évaluations des risques offre l'occasion d'appuyer une compréhension plus complète des menaces liées aux changements climatiques et des solutions possibles (Cappell, 2019). Comme l'a souligné l'ICCC, « les savoirs autochtones, tout comme les connaissances occidentales, peuvent donc beaucoup nous apprendre sur les coûts potentiels des changements climatiques au pays » (ICCC, 2020, p. 1).

Le besoin d'interdisciplinarité et d'intégration des systèmes de connaissances autochtones reflète un message essentiel à retenir du point de vue des politiques et des pratiques, à savoir que **l'atteinte des objectifs en matière d'infrastructure résiliente au climat nécessite une approche intégrée de l'ensemble de la société**. Cappell (2019) souligne que la plupart des cadres d'infrastructures résilientes à l'échelle internationale, nationale et infranationale reconnaissent et adoptent une telle approche intégrée. Par exemple, le Climate-Safe Infrastructure



Working Group de l'Assemblée législative de l'État de Californie et le Strategic Growth Council (2018) a reconnu que [traduction] « les planificateurs et les concepteurs d'infrastructures doivent faire face à de vieux paradigmes de stationnarité [...] et considérer l'infrastructure non pas comme des structures individuelles, mais comme des systèmes entiers intégrés dans un monde plus complexe et interconnecté. » Un autre avantage d'une telle approche intégrée à l'échelle de la société est qu'elle reconnaît que la résilience des infrastructures publiques, tant bâties que naturelles, peut aussi améliorer la résilience dans d'autres secteurs, comme la santé publique (Cappell, 2019). La Stratégie fédérale-provinciale-territoriale de sécurité civile pour le Canada : Vers un 2030 marqué par la résilience (Sécurité publique Canada, 2019) amplifie cette approche pansociétale dans bon nombre de ses secteurs d'activité prioritaires afin de renforcer la résilience globale à un environnement de risque de plus en plus complexe et en évolution rapide au Canada. De même, dans le cadre du plan climatique du Canada, une approche pansociétale sera un pilier essentiel de l'élaboration d'une stratégie nationale d'adaptation.

2.3 Rôles complémentaires des infrastructures bâties et naturelles

L'infrastructure bâtie (aussi appelée infrastructure matérielle ou infrastructure grise) est ce à quoi les Canadiens pensent habituellement lorsqu'il est question d'infrastructure. Les exemples comprennent les routes, les bâtiments, les installations de traitement de l'eau, les ports, les ponceaux, les lignes de transmission et les systèmes d'énergie solaire, pour n'en nommer que quelques-uns. **Au cours des dernières années, cependant, on a constaté une sensibilisation et un intérêt croissants à l'égard du potentiel des infrastructures naturelles comme les terres humides, les arbres et les graminées côtières pour offrir les avantages découlant des infrastructures bâties** – soit par elles-mêmes ou en combinaison avec les infrastructures grises. Ce regain d'intérêt se reflète dans des mesures comme l'intégration par l'American Society of Civil Engineers (ASCE) de l'infrastructure naturelle et verte, pour la première fois, dans son bulletin de 2021 sur l'infrastructure. L'ASCE a reconnu que des progrès en matière de résilience dans tous les secteurs de l'infrastructure peuvent être réalisés en incluant ou en améliorant les infrastructures naturelles ou vertes (ASCE, 2021).

Dans un rapport rédigé pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), l'infrastructure naturelle a été définie comme suit (ICF, 2018, p. 1) :

combinaisons de végétation existante, restaurée ou améliorée et aux composantes biologiques, terrestres et hydriques connexes, et leurs processus écologiques naturels qui génèrent des résultats en matière d'infrastructure comme la prévention et l'atténuation des inondations, de l'érosion et des glissements de terrain, l'atténuation des chaleurs extrêmes et la purification des eaux souterraines.



Le rapport indique également que l'infrastructure naturelle « utilise des écosystèmes et des matériaux naturels (comme les arbres, le sable et les pierres) pour obtenir des résultats de services écosystémiques et contribuer à la résilience climatique » et que « ces écosystèmes et matériaux peuvent être des caractéristiques naturelles existantes, ou mises en place ou construites par l'homme » (ICF, 2018, p. 9). Bien que le terme « infrastructure naturelle » soit utilisé exclusivement dans les autres sections du présent rapport, les auteurs reconnaissent qu'il est utilisé de façon interchangeable avec d'autres termes et définitions, y compris pour les infrastructures vertes, les solutions axées sur la nature, les solutions hybrides et l'ingénierie avec la nature – qui ont des différences nuancées en termes de portée et de compréhension de la relation entre le milieu bâti et le milieu naturel (voir l'encadré 1).

L'intérêt pour l'utilisation de l'infrastructure naturelle découle en partie de sa rentabilité potentielle et de sa capacité d'offrir des avantages connexes. Par exemple, l'OCDE a observé que [*traduction*] « les approches axées sur les écosystèmes, y compris les infrastructures naturelles, peuvent être moins coûteuses que de s'appuyer uniquement sur les infrastructures “grises”, et produire des avantages connexes » (OCDE, 2018b, p. 6). De même, le Bureau d'assurance du Canada (BAC) a déclaré que l'infrastructure naturelle « peut être un moyen rentable d'atténuer les pertes financières importantes qui résulteraient autrement des inondations » et « peut offrir d'autres avantages environnementaux et sociaux que l'on ne peut pas, dans bien des cas, atteindre par la mise en œuvre de solutions grises artificielles traditionnelles » (Moudrak et coll., 2018, p. 4-5). Ces avantages communs comprennent la protection de la biodiversité, la séquestration du carbone, les possibilités récréatives et les contributions positives à la santé mentale.

La section 3.3 du présent document examine plus en détail les divers types de solutions d'infrastructure naturelle qui sont déployées au Canada et dans le monde pour renforcer la résilience aux changements climatiques.



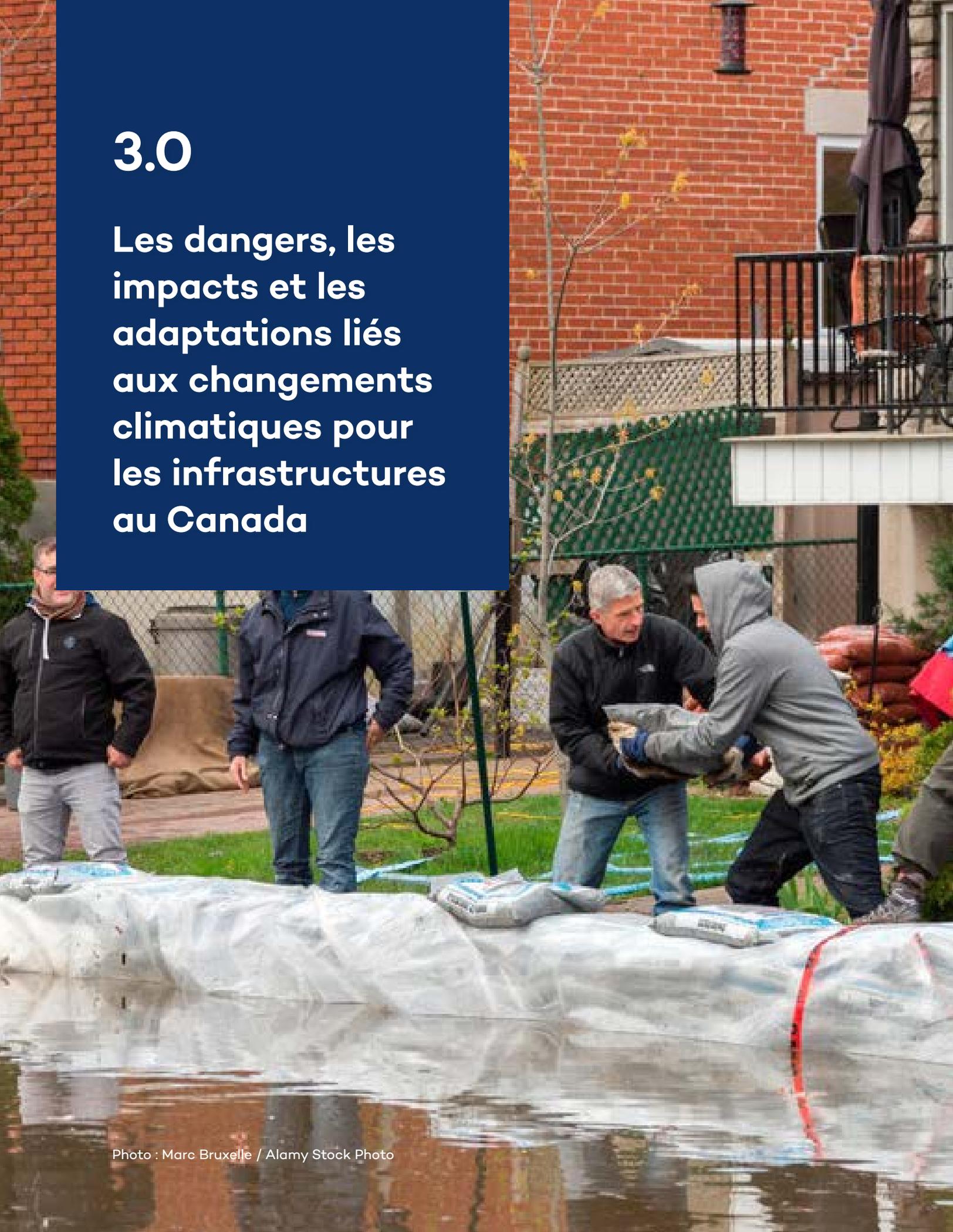
Encadré 1. Autres définitions relatives à l'infrastructure naturelle

Le terme « infrastructure naturelle » est utilisé de façon interchangeable avec plusieurs autres termes connexes, y compris les solutions axées sur la nature, les approches écosystémiques, l'ingénierie avec la nature et l'infrastructure verte. Voici quelques définitions courantes :

- **Infrastructure verte** (Initiative des actifs naturels municipaux, 2017, p. 3) : [traduction] « Comprend les éléments conçus et mis au point qui ont été créés pour imiter les fonctions et les processus naturels au service des intérêts humains. » L'infrastructure verte comprend les actifs naturels (c.-à-d. les terres humides, les forêts, les parcs, les lacs, les rivières, les ruisseaux, les champs, le sol), les actifs améliorés (c.-à-d. les jardins pluviaux, les rigoles de drainage biologique, les arbres et les parcs urbains, le biomimétisme, les bassins d'eaux pluviales) et les actifs d'ingénierie. (p. ex. chaussées perméables, toits verts, barils de pluie, murs verts, citernes).
- **Ingénierie avec la nature** (U.S. Army Corps of Engineers [USACE], 2021) : [traduction] « L'alignement intentionnel des processus naturels et d'ingénierie pour produire des avantages économiques, environnementaux et sociaux de façon efficace et durable grâce à des processus de collaboration. »
- **Solutions fondées sur la nature** (Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature, 2019, p. 9) : [traduction] « Mesures visant à protéger, à gérer de façon durable et à restaurer les écosystèmes naturels ou modifiés qui répondent aux défis sociétaux de façon efficace et adaptative, tout en procurant des avantages pour le bien-être humain et la biodiversité. » Les défis sociétaux que les solutions fondées sur la nature aident à relever comprennent les changements climatiques, la sécurité alimentaire, la sécurité de l'eau, le risque de catastrophe, la santé humaine et le développement économique et social.
- **Solutions hybrides** (ICF, 2018, p. 9) : Un résultat des solutions fondées sur la nature qui sont « combinées à l'infrastructure grise pour accroître la résilience de l'infrastructure et de l'écosystème environnant face aux événements à intensité plus élevée ».

3.0

Les dangers, les impacts et les adaptations liés aux changements climatiques pour les infrastructures au Canada





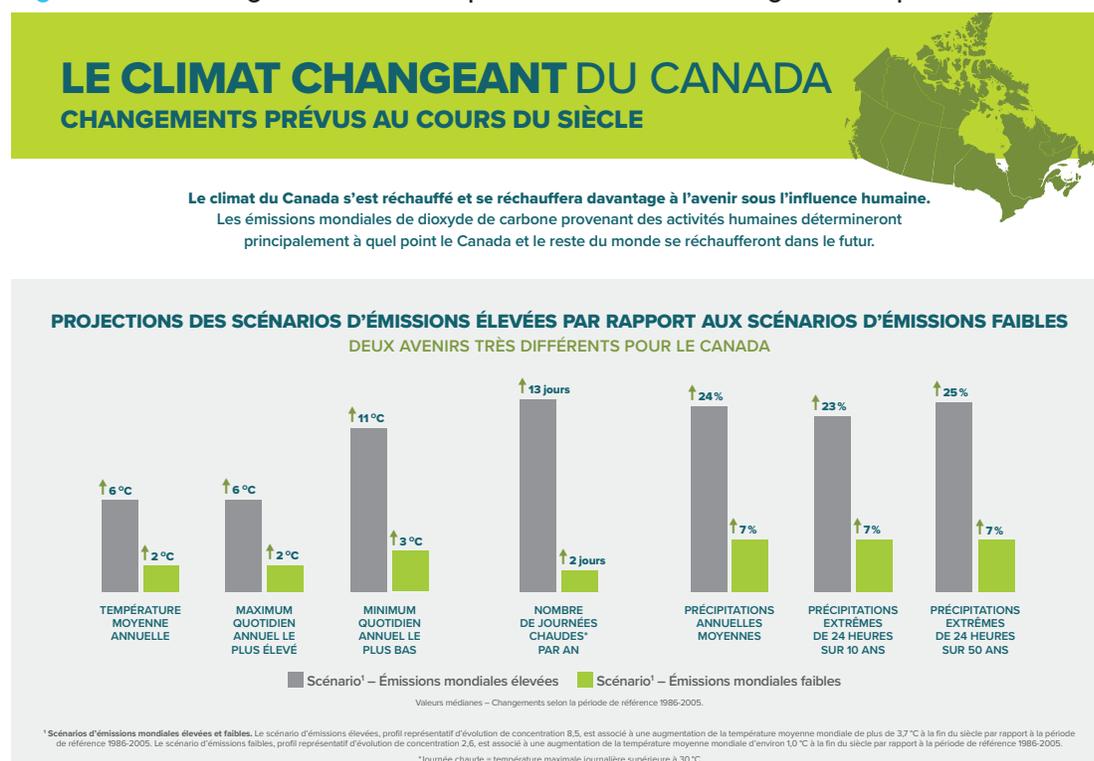
Cette section commence par un aperçu des dangers liés aux changements climatiques pour les infrastructures des différentes régions du Canada et de leurs répercussions sur celles-ci. Suit un examen détaillé des dangers liés aux changements climatiques, de leurs répercussions et des options d'adaptation illustrées pour six types différents d'infrastructure bâtie. La section se termine par un examen du rôle des infrastructures naturelles dans l'augmentation de la résilience aux changements climatiques tout en offrant des avantages connexes supplémentaires.

3.1 Répercussions des changements climatiques sur les infrastructures au Canada

Le climat au Canada change et continuera de changer au cours des prochaines décennies.

Comme l'illustre la figure 2, selon le succès des efforts déployés à l'échelle mondiale pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, les températures moyennes annuelles au Canada pourraient augmenter de 1,8 °C (dans un scénario de faibles émissions) pour atteindre 6,3 °C (dans un scénario de fortes émissions) d'ici la fin du siècle (2081-2100) (Bush et Lemmen, 2019). En raison de la géographie vaste et diversifiée du Canada, le rythme et l'ampleur du réchauffement actuel et futur varient selon les régions et les saisons, tout comme les changements connexes des précipitations et d'autres variables. Les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures varieront également d'une région à l'autre. Les paragraphes qui suivent examinent la façon dont le climat change dans cinq régions distinctes du Canada – Nord et Arctique, Pacifique, Prairies, Centre et Atlantique – et les répercussions sur l'infrastructure locale.

Figure 2. Le changement climatique au Canada : Changements prévus au cours du siècle



Source : Gouvernement du Canada, 2019a.



Régions du Nord et de l'Arctique. Les températures annuelles moyennes dans le Nord du Canada continuent d'augmenter à un rythme équivalent à plus du double de la moyenne mondiale. À son tour, cette augmentation de la température influe sur la fréquence et l'intensité des événements extrêmes comme les sécheresses, les feux de forêt et les inondations, ainsi que sur les changements graduels comme les changements dans la neige, la glace et le pergélisol. Ces changements peuvent avoir une incidence importante sur l'infrastructure (Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 2018). La hausse des températures et les changements climatiques ont une incidence négative sur la durée de la saison et la capacité de charge des routes de glace d'hiver, des infrastructures essentielles pour les collectivités éloignées (CAC, 2019; Pendakur, 2017). Récemment, les feux de forêt causés par la foudre, qui sont une conséquence de l'augmentation des températures et des précipitations, sont devenus plus fréquents dans les Territoires du Nord-Ouest (Conseil de l'Arctique, 2019). De même, les changements dans la débâcle des rivières augmentent le risque d'inondation intérieure et de dommages subséquents aux collectivités, aux routes et aux réseaux d'aqueduc et d'assainissement à proximité (gouvernement du Yukon, 2020). Le dégel du pergélisol a une incidence sur les corridors de transport, les bâtiments, les pipelines, les bandes d'atterrissage, les installations industrielles et les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Pour certaines collectivités, cela peut signifier la perte de l'accès aux services essentiels (CAC, 2019). Dans les Territoires du Nord-Ouest, on estime que le coût des répercussions du pergélisol sur les actifs dans 33 collectivités sera d'environ 51 millions de dollars canadiens par année (Northwest Territories Association of Communities, 2011).

Les zones marines de l'Arctique connaissent de plus longues périodes sans glace, ce qui augmente le risque d'inondation et de dommages aux infrastructures côtières (Ford et coll., 2016). Bon nombre de ces endroits sont également touchés par l'élévation du niveau de la mer, ce qui accroît l'exposition des infrastructures côtières des collectivités du Nord aux dommages causés par l'érosion, les inondations et les ondes de tempête (Conseil de l'Arctique, 2019). La perspective d'un océan Arctique libre de glace au cours de ce siècle (Guarino et coll., 2020) fait ressortir le risque très réel que les changements climatiques affectent directement l'infrastructure du Nord tout en entraînant une augmentation importante de la demande de services. Les possibilités d'activités commerciales et de transport maritime tout au long de l'année dans le Nord pour de nombreux pays ont déjà été documentées en détail par plusieurs chercheurs et organisations (par exemple, Conseil de l'Arctique, 2019; Maritime Executive, 2021; Polar and Ocean Portal, 2015). Cette augmentation de la demande pourrait exercer des pressions supplémentaires sur les infrastructures existantes et créer des pressions pour la construction de nouvelles infrastructures.

Région du Pacifique. De nombreuses régions côtières et intérieures de la Colombie-Britannique seront exposées à un risque accru pour l'infrastructure et les collectivités en raison des sécheresses, des inondations et des feux de forêt (Bureau du vérificateur général de la Colombie-Britannique, 2018). La réduction des précipitations hivernales, de l'accumulation de neige printanière et du débit des rivières, combinée au réchauffement hivernal et printanier, augmentera la probabilité de pénuries d'eau saisonnières (BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy, 2019; Bush et Lemmen, 2019; Cohen et coll., 2019). Les inondations



intérieures et côtières causées par des épisodes de précipitations intenses de courte durée, y compris celles associées aux rivières atmosphériques², ainsi que par une fonte plus rapide et plus précoce du manteau neigeux, des ondes de tempête plus importantes et l'élévation du niveau de la mer, constituent également une menace croissante. Les inondations dans la région du Pacifique entraîneraient des dommages coûteux aux aéroports, aux ports, aux gares maritimes, aux routes, aux ponts, aux bâtiments et aux infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement (Vadeboncoeur, 2016).

Les inondations causées par l'élévation du niveau de la mer toucheront de façon disproportionnée les basses terres du Fraser, le sud de l'île de Vancouver et la côte nord. L'élévation du niveau de la mer peut entraîner des ondes de tempête côtières plus violentes, ce qui, conjugué à de forts vents causés par des conditions météorologiques extrêmes, accentuera la gravité des inondations. Ces changements mettent en péril l'infrastructure et les biens, surtout le long des côtes et dans les zones situées sous le niveau de la mer, comme Richmond et Delta dans le Grand Vancouver. Enfin, l'infrastructure touristique côtière et les sites culturels peuvent également être menacés par l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête et l'érosion due aux conditions météorologiques extrêmes (CAC, 2019; Lemmen et coll., 2016; Vadeboncoeur, 2016).

Région des Prairies. Les divers paysages de l'Alberta, de la Saskatchewan et du Manitoba, des Rocheuses aux Grandes Plaines, en passant par le nord du Bouclier canadien et le littoral de la baie d'Hudson, sont caractérisés par une variété de conditions climatiques et de phénomènes météorologiques extrêmes. Au cours de la décennie de 2010 à 2020, les provinces des Prairies ont connu les catastrophes météorologiques extrêmes les plus coûteuses jamais enregistrées, y compris des inondations, des sécheresses et des feux de forêt (Sauchyn et coll., 2020). La fréquence et l'intensité de ces phénomènes augmenteront à l'avenir, de même que les changements dans les températures moyennes et les précipitations (Sauchyn et coll., 2020). Les projections pour les Prairies comprennent des sécheresses et des déficits d'humidité du sol plus fréquents et plus intenses, des précipitations plus abondantes qui augmentent le risque d'inondation et un risque accru d'incendies de forêt (Sauchyn et coll., 2020).

De tels événements devraient continuer de perturber les infrastructures essentielles dans la région. L'infrastructure de transport urbain des Prairies, y compris les routes, les ponts, les chemins de fer et les pistes, est [traduction] « fortement exposée aux effets du climat, comme la hausse des températures et des précipitations plus fréquentes et plus intenses » (Temmer et Venema, 2017, p. 1). C'est particulièrement le cas des villes fluviales comme Calgary et Edmonton qui reçoivent de grandes quantités de précipitations sur de courtes périodes (Temmer et Venema, 2017). De plus, le Prairie Climate Centre observe que les changements climatiques exercent des pressions sur les réseaux électriques (en augmentant la demande de climatisation et à cause

² Les cours d'eau atmosphériques sont de [traduction] « longs cours d'eau étroits de fortes concentrations de vapeur d'eau dans l'atmosphère qui déplacent l'humidité des régions tropicales vers les pôles à travers les latitudes moyennes » (Pacific Climate Impacts Consortium, 2013, p. 2, cité dans Vadeboncoeur, 2016, p. 211). Ces événements sont responsables de précipitations extrêmes sur la côte Ouest, qui peuvent entraîner des glissements de terrain et des inondations (Vadeboncoeur, 2016).



de l'exposition à des chocs climatiques comme les tempêtes de verglas, les sécheresses et les tornades) et sur les systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Il faut donc se fier à de multiples formes d'infrastructures résilientes et intégrer des solutions de conservation de l'eau et d'infrastructures naturelles (Venema et Temmer, 2017a, 2017b). Pour les provinces des Prairies, il est reconnu que le changement combiné d'événements météorologiques extrêmes plus intenses et de variations dans le climat de référence « pourrait en fin de compte être le scénario le plus difficile », car « [l]a température, les précipitations et les niveaux d'eau finiront par dépasser un seuil au-delà duquel les impacts s'aggraveront abruptement. On peut citer comme exemples la perte permanente de l'eau stockée sous forme de neige et de glace, l'intensité des précipitations qui dépasse la capacité de stockage des infrastructures » (Sauchyn et coll., 2020, p. 63).

Région du Centre. L'Ontario est vulnérable aux phénomènes climatiques extrêmes comme les pluies intenses, les tempêtes de verglas, les tempêtes de vent et les vagues de chaleur, ainsi qu'aux dangers climatiques qui en découlent, comme la sécheresse, les inondations, les glissements de terrain, l'érosion côtière et les feux de forêt. Au cours des prochaines années, les températures et les niveaux de précipitations dans la province devraient augmenter (Cohen et coll., 2019). Les répercussions sur l'infrastructure qui en découleront varieront du ramollissement de la chaussée en temps de chaleur intense et de la fissuration du béton pendant les cycles de gel et de dégel, aux conduites d'eau qui débordent en cas de fortes pluies et aux dommages causés aux lignes électriques par la tempête de verglas (Gouvernement de l'Ontario, 2015). Les phénomènes météorologiques extrêmes endommagent également les infrastructures, comme la tempête de mai 2018 dans le sud de l'Ontario (et au Québec), suivie des tornades dans la région de la capitale nationale en septembre 2018, qui ont causé près de 1 milliard de dollars canadiens en pertes assurées (Conseil canadien des normes [CCN], 2019). La hausse des températures de l'air, l'augmentation des précipitations et l'augmentation des variations extrêmes entre les périodes de sécheresse et les fortes précipitations dans la région des Grands Lacs entraîneront une variabilité des niveaux d'eau qui mettra à l'épreuve l'infrastructure côtière. Il est même possible que les niveaux d'eau globaux des Grands Lacs diminuent en raison des taux d'évaporation plus élevés (Cohen et coll., 2019; Groupe de travail sur les enjeux émergents du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 2017).

Au Québec, on prévoit également une augmentation des températures et des niveaux de précipitations. Dans le golfe du Saint-Laurent, le niveau relatif de la mer devrait augmenter et la hauteur des vagues et la durée de la saison des vagues devrait augmenter (Cohen et coll., 2019). La fonte du pergélisol, l'augmentation de l'érosion côtière et la fréquence accrue des phénomènes météorologiques extrêmes nuisent à l'environnement bâti au Québec (Ouranos, 2015). Les dommages à l'infrastructure associés aux inondations augmentent et surviennent maintenant en toutes saisons, tandis que les inondations par le passé avaient tendance à se produire au printemps et à être associées à la fonte des neiges et à la débâcle (Ouranos, 2015). La diminution de la couverture de glace de mer dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent expose le littoral à des ondes de tempête et stimule l'érosion côtière, augmentant les risques pour les bâtiments et les infrastructures côtiers (Bernatchez et coll., 2015). Assurer la résilience des infrastructures, notamment par l'utilisation d'infrastructures naturelles, fait partie des quatre



enjeux fondamentaux mis en évidence dans l'approche du Québec en matière de changements climatiques (Gouvernement du Québec, 2020).

Région de l'Atlantique. Les changements climatiques au Canada atlantique devraient entraîner des tempêtes plus fréquentes et plus intenses, une élévation du niveau de la mer, des inondations causées par des ondes de tempête, une réduction de la couverture de glace de mer, une érosion côtière, des inondations côtières et intérieures et une intrusion d'eau salée dans les eaux de surface et les eaux souterraines (Savard et coll., 2016). Les dommages causés aux collectivités côtières par l'élévation du niveau de la mer, les fortes précipitations et les ondes de tempête ont été identifiés comme l'un des six principaux risques liés aux changements climatiques auxquels le Canada est confronté (CAC, 2019). Des coûts financiers importants sont associés aux phénomènes météorologiques extrêmes dans la région, notamment les ouragans et les tempêtes hivernales. Entre 2003 et 2011, les dommages causés par trois ouragans et une tempête hivernale majeure dans la région ont entraîné des pertes assurées allant de 51 à 132 millions de dollars canadiens (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). L'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête pourraient renverser le système de digues historiques qui contrôlent les inondations des basses terres, et protègent le corridor de transport et de commerce entre le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse, l'isthme de Chignecto ou le marais Tantramar, par lequel passe chaque jour des marchandises d'une valeur de 50 millions de dollars canadiens (Dietz et Hoyt, 2016). La région de l'Atlantique est l'une des régions du Canada qui ont le plus besoin d'investissements en matière d'adaptation pour se protéger contre les risques climatiques (ainsi que la région du Nord), notamment pour répondre aux priorités en matière d'infrastructure des digues, des routes et des bâtiments locaux (BAC et Fédération canadienne des municipalités [FCM], 2020).

3.2 Impacts des changements climatiques et adaptation des infrastructures construites

La revue de la littérature a permis de constater que tous les types d'infrastructures construites au Canada sont à risque face à une vaste gamme de dangers climatiques, y compris les changements dans les régimes de précipitations, les ondes de tempête, les marées plus élevées, les changements du niveau de la mer et les fluctuations du niveau des eaux intérieures; les vents violents et les conditions de vent changeantes; la pression de la pluie chassée par le vent; les ouragans et tornades; les inondations terrestres et côtières; les tempêtes d'hiver et les tempêtes de verglas; l'augmentation des températures saisonnières entraînant la dégradation du pergélisol et l'évolution des cycles gel-dégel; la chaleur extrême et les vagues de chaleur; la sécheresse; et les feux de forêt. Différents types d'infrastructure peuvent être touchés par ces dangers climatiques de différentes façons, y compris la réduction de la durée de vie, les services interrompus en raison des dommages ou les seuils de capacité dépassés pendant les phénomènes climatiques extrêmes ou les changements lents à apparaître. Des options d'adaptation pratiques à ces divers dangers climatiques existent pour tous les types d'infrastructure, et bon nombre d'entre elles sont déjà mises en œuvre partout au Canada. Ces options d'adaptation se divisent en trois grandes catégories, à savoir la planification et l'évaluation tenant compte du climat à l'étape conceptuelle,



les solutions structurelles et l'amélioration de la surveillance et de l'entretien. La revue de la littérature a également fait ressortir l'importance des approches fondées sur les risques dans la prise de décisions et la planification, ainsi que des voies d'adaptation et des politiques souples, robustes et redondantes (Risk Sciences International et le Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2015; Swanson et Bhadwal, 2009; Venema, 2017).

La présente section explique comment différents types d'infrastructures bâties sont touchés par un éventail de dangers climatiques et les options possibles pour atténuer ces risques. Elle se concentre sur six types d'infrastructures bâties :

1. **Infrastructures de transport terrestre** (routes et pistes, ponts et chemins de fer)
2. **Bâtiments** (publics et privés)
3. **Infrastructures d'approvisionnement en eau** (sources de surface et souterraines, installations de traitement, barrages, réservoirs et aquifères)
4. **Infrastructures liées aux eaux usées et aux eaux pluviales** (installations de traitement, ponceaux, égouts, égouts pluviaux et tuyaux)
5. **Infrastructures maritimes** (ports, canaux, quais, jetées et ouvrages de protection)
6. **Infrastructures énergétiques et TIC** (corridors de transport, énergie renouvelable, pétrole et gaz, Internet et technologies sans fil)

Pour chaque type d'infrastructure, des tableaux sommaires sont fournis dans les annexes pour décrire les dangers climatiques pertinents, les impacts signalés ou prévus sur l'infrastructure et des exemples des types d'adaptations observées ou suggérées par les experts. Ces solutions et processus techniques continuent d'évoluer au fur et à mesure que les connaissances et l'expérience en matière d'infrastructure résiliente au climat augmentent.

3.2.1 Infrastructures de transport terrestre

ROUTES ET PISTES, PONTS ET CHEMINS DE FER

L'infrastructure de transport terrestre du Canada est essentielle pour relier les Canadiens sur un si vaste territoire et constitue la porte d'entrée du corridor commercial du Canada, jouant un rôle essentiel dans l'économie du pays. En 2018, il y avait 1 066 180 kilomètres de routes publiques au Canada (équivalents à deux voies), dont 14,7 % étaient jugées en mauvais ou en très mauvais état physique (Statistique Canada, 2020). Le réseau routier national du Canada (la Transcanadienne) s'étend sur 38 098 km, dont 95 % appartiennent aux gouvernements provinciaux et territoriaux et sont exploités par eux (Conseil des ministres responsables des transports et de la sécurité routière, 2019).

Les dangers climatiques peuvent avoir une incidence sur les infrastructures de transport terrestre de trois façons : i) les événements critiques; ii) l'intégrité structurale compromise; et iii) la réduction de la durée de vie. Les exemples d'événements critiques comprennent les effondrements de routes, les bris de ponts, les bris de remblais et les glissements



de terrain qui détruisent les routes, les ponts et les chemins de fer. Tous ces types d'événements critiques peuvent entraîner des pertes de vie et de service, ainsi que des coûts considérables pour réparer les dommages à l'infrastructure. De plus, les dangers climatiques peuvent compromettre l'intégrité structurelle de l'infrastructure et exiger une intervention avant que la diminution de l'intégrité n'entraîne un événement critique. Les exemples d'intégrité structurelle compromise comprennent l'affouillement des ponts; l'érosion des fondations (routes, pistes et chemins de fer); l'expansion thermique des ponts et des chemins de fer; et la fissuration, l'orniérage et le ramollissement des routes et des pistes (asphalte et/ou chaussée). Enfin, les changements climatiques peuvent également avoir une incidence sur la durée de vie des infrastructures qui ont été conçues en fonction des conditions climatiques passées (Transports Canada, 2016). L'annexe 1 présente en détail les types de dangers liés aux changements climatiques et les répercussions potentielles connexes de ces dangers sur l'infrastructure de transport terrestre du Canada.

Trois grandes catégories de stratégies d'adaptation ont été observées dans la documentation afin de réduire ou d'éliminer les répercussions des changements climatiques sur l'infrastructure de transport terrestre. **Les principales catégories de stratégies d'adaptation sont i) la planification de l'infrastructure et le choix de l'emplacement, y compris l'évaluation des risques; ii) les solutions structurelles, y compris les techniques et les technologies de construction; et iii) les pratiques de surveillance et d'entretien.** Des exemples de planification de l'infrastructure et d'adaptation de l'emplacement sont la réalisation d'évaluations des risques à l'aide de la norme 31000 de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et/ou du protocole du CVIIP; la cartographie du pergélisol; et la conception de structures qui tiennent compte des projections relatives aux changements climatiques (p. ex. ce qui était auparavant considéré comme un événement se produisant tous les cent ans à l'aide de données climatiques historiques se produit en fait plus souvent dans le contexte des changements climatiques). Des exemples de techniques de construction sont l'épaississement des remblais et l'utilisation de méthodes et de matériaux novateurs (p. ex. géotextiles, mélanges de béton hautement durables et imperméables, tapis de béton articulé et thermosiphons). Enfin, les méthodes d'entretien et de surveillance comprennent l'installation de dispositifs pour surveiller l'affouillement des ponts, le dégagement des débris des ponceaux et le réacheminement de la circulation si l'infrastructure de transport terrestre présente des problèmes temporaires d'intégrité structurelle (Melillo et coll., 2014; Transports Canada, 2016). L'annexe 1 présente en détail les types de stratégies d'adaptation qui peuvent être entreprises pour réduire (ou éliminer) les répercussions des dangers liés aux changements climatiques sur l'infrastructure de transport terrestre du Canada. Des exemples de ces mesures sont fournis dans le tableau 1 ci-dessous.



Tableau 1. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résiliences pour les systèmes de transport terrestre

Danger climatique	Exemples d'impacts sur l'infrastructure	Exemples d'options en matière de résilience
Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • Ramollissement, orniérage et ressuage de la chaussée • Dilatation thermique des rails (gauchissement) 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des mélanges de revêtements tolérants à la chaleur • Utiliser des revêtements de rails à faible absorption solaire
Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Risque accru d'événements critiques (par exemple, les lavages) • Accrétion accrue de glace sur les ponts à haubans 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter la capacité des ponceaux • Utilisation de revêtements de câbles pour évacuer la glace accrétée
Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> • Saison hivernale raccourcie pour les routes de glace • Instabilité des sols et des pentes, ainsi que mouvements et tassements du sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformer les routes de glace en routes toutes saisons • Installer des géotextiles
Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> • Chaussées, ponts et routes de basse altitude inondés ou endommagés 	<ul style="list-style-type: none"> • Construire des enrochements et des digues
Vents forts	<ul style="list-style-type: none"> • Routes, ponts et voies ferrées bloqués à cause de débris ou de la neige 	<ul style="list-style-type: none"> • Actualiser les normes relatives à la gestion de la végétation (par exemple, planter différentes espèces d'arbres le long des routes)

3.2.2 Bâtiments

Les bâtiments sont un élément essentiel de la vie au Canada, où les résidents passent 90 % de leur temps à l'intérieur (Parcs Canada, 2014, p. 3) et constituent une composante importante de l'économie. Le secteur au Canada comprend 14,79 millions de ménages (selon les données de 2018, Ressources naturelles Canada [RNCAN], 2021) et 482 000 immeubles commerciaux ou institutionnels (selon les données de 2014, Statistique Canada, 2016). Les données probantes montrent qu'il y a un investissement continu dans le parc immobilier. Par exemple, en 2019, les municipalités ont délivré des permis de bâtir d'une valeur de 102,4 milliards de dollars canadiens dans les secteurs résidentiel et non résidentiel (Statistique Canada, 2020). La construction de nouveaux bâtiments, y compris des logements, devrait connaître une croissance positive jusqu'en 2029, grâce aux niveaux élevés d'immigration et à la reprise économique (BuildForce Canada, 2020). À l'heure actuelle, la durée de vie nominale de la plupart des bâtiments est de 50 ans, et l'âge moyen des infrastructures des bâtiments municipaux est d'environ 37 ans (selon les données de 2016, Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017).



Les répercussions des changements climatiques peuvent poser des graves problèmes aux bâtiments, affectant l'enveloppe, la structure et les matériaux, ainsi que le rendement de certains systèmes mécaniques et électriques (Ouranos, 2015). La plupart des paramètres de conception du bâtiment sont fondés sur des données météorologiques historiques, et de nombreux bâtiments existants n'ont pas été construits pour résister à la gamme projetée de conditions climatiques et à la fréquence accrue des événements météorologiques extrêmes (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation 2017). Les bâtiments dans le Nord du Canada deviennent instables, et certains doivent être détruits en raison du déplacement des fondations causé par la dégradation du pergélisol (Gouvernement du Nunavut, 2013; Lamb, 2017). L'augmentation des précipitations a réduit l'intégrité structurale de nombreux bâtiments, accéléré la détérioration des façades des bâtiments, causé l'altération prématurée des matériaux de construction, augmenté le lessivage rapide de surface et, dans certains cas, a diminué l'intégrité des bermes artificielles en raison de l'instabilité des pentes (Infrastructure Canada, 2006). L'augmentation des précipitations hivernales pendant une période d'accumulation de neige plus courte peut accroître le risque d'effondrement du toit (Gouvernement du Canada, 2019b), comme cela s'est produit en février 2019 lorsque plusieurs toits se sont effondrés au Québec à la suite de fortes chutes de neige et de pluie verglaçante (Olivier, 2019). Les phénomènes météorologiques extrêmes, comme les pluies abondantes en peu de temps, peuvent entraîner des inondations qui peuvent causer des dommages importants aux bâtiments, y compris des inondations au sous-sol (BAC et FCM, 2020). Le feu de forêt de 2016 à Fort McMurray, en Alberta, qui a détruit plus de 2 600 bâtiments a été alimenté notamment par un hiver extrêmement sec, en plus d'un temps exceptionnellement chaud et de vents violents (Presse canadienne, 2017, Di Liberto, 2016). L'annexe 2 présente en détail les types de dangers liés aux changements climatiques et les répercussions possibles de ces dangers sur les bâtiments au Canada.

Du point de vue de l'infrastructure, les **bâtiments nécessitent le plus grand investissement dans l'adaptation, et des mises à niveau urgentes sont nécessaires pour faire face aux inondations, à l'érosion et à la fonte du pergélisol**, qui posent les plus grands risques pour les bâtiments (BAC et FCM, 2020). Selon un récent rapport d'ECCC, d'après les connaissances actuelles sur la variabilité et les changements climatiques au Canada, la conception future des bâtiments devrait tenir compte des prévisions d'augmentation de la température et de la probabilité de précipitations extrêmes, et tenir compte de la pression de la pluie chassée par le vent, un risque émergent pour les bâtiments existants (Cannon et coll., 2021).

Les mesures d'adaptation peuvent comprendre la mise à jour et l'élaboration de nouveaux codes et normes du bâtiment; la prise en compte des répercussions et des risques climatiques dans les politiques, la planification et le zonage; des solutions d'ingénierie comme la modification des pratiques de construction et l'application de nouvelles technologies; la révision des pratiques d'investissement et d'assurance; et la recherche, l'amélioration des données et le partage de l'information (voir tableau 2 et annexe 2). Des progrès considérables sont réalisés dans la conception et la construction d'immeubles qui peuvent résister aux effets des changements climatiques et qui peuvent demeurer fonctionnels pendant et après les perturbations. Des codes,



des normes et des guides nouveaux et mis à jour ont été élaborés ou mis à jour afin d'améliorer la résilience aux changements climatiques en ce qui a trait à la conception résiliente au vent, aux feux de forêt, aux charges de neige, à la résilience aux inondations et à l'utilisation du pergélisol (CCN, 2019). Le Protocole du CVIIP a élaboré plusieurs modèles pour l'étude des effets potentiels des changements climatiques sur les bâtiments et la détermination des options d'adaptation (IPSC et CRI, 2021). Des guides sur la résilience aux changements climatiques ont été élaborés pour des types particuliers de bâtiments, comme les établissements de santé (Energy & Environmental Sustainability et Integral Group, 2020).

Tableau 2. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour les bâtiments

Danger climatique	Exemples d'impacts sur l'infrastructure	Exemples d'options en matière résilience
Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la température de l'air intérieur et recours aux systèmes de refroidissement • Vieillesse accélérée des matériaux de construction 	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer les systèmes de ventilation et installer des stores aux fenêtres • Installer des matériaux thermiquement réfléchissants pour la couverture et les façades des bâtiments
Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du risque d'inondation des structures • Effondrement des toits dû à des charges de neige plus importantes sur les toits 	<ul style="list-style-type: none"> • Installer des clapets anti-retour, des pompes de puisard; réaménager les zones sans constructions dans les zones d'inondations à haut risque • Rénovation des structures à risque selon des normes plus strictes
Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages causés aux fondations et aux bâtiments par les changements dans les cycles de gel/dégel et l'assèchement des sols 	<ul style="list-style-type: none"> • Choisir des granulats de mélange de béton qui se comportent mieux dans les cycles de gel/dégel.
Détérioration du pergélisol	<ul style="list-style-type: none"> • Les affaissements et les flambages peuvent endommager les fondations • Perte de solidité du bâtiment 	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la ventilation et les poteaux structurels ajustables • Meilleures pratiques de conception pour les fondations
Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion compromet l'intégrité des fondations • Augmentation de la corrosion des métaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Structures de protection/ digues/ digues de sécurité • Composants de produits métalliques présentant une résistance accrue à la corrosion
Vents forts	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de couverture de toit • Débris transportés par le vent peuvent briser les fenêtres et endommager les extérieurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcer les toits / sangles anti-ouragan et fixations supplémentaires • Installer un verre résistant aux chocs



3.2.3 Infrastructure d'approvisionnement en eau

SOURCES D'EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINES, INSTALLATIONS DE TRAITEMENT, BARRAGES ET RÉSERVOIRS, RÉSEAUX DE DISTRIBUTION

Les Canadiens dépendent fortement des systèmes d'infrastructure pour fournir de l'eau potable, d'irrigation, de loisirs, de navigation et d'assimilation des déchets. En 2018, il y avait environ 15 000 installations d'eau potable (actifs non linéaires : traitement, réservoirs, réservoirs de stockage et stations de pompage) et environ 214 000 km de réseaux de distribution d'eau potable (actifs linéaires : conduites locales et conduites d'eau) au Canada (Statistique Canada, 2020). Environ 20 % des conduites de distribution et de transport d'eau ont été construites avant 1970 (Statistique Canada, 2020). Les barrages servent parfois à fournir de l'eau potable et de l'eau pour l'irrigation, les loisirs, la navigation, le refroidissement thermique, l'industrie et l'assimilation des déchets. Cependant, les grands barrages utilisés uniquement pour l'approvisionnement en eau ne sont pas courants au Canada en raison de l'abondance générale des ressources en eau (Association canadienne des barrages, 2019).

Les dangers climatiques peuvent avoir une incidence sur les infrastructures d'approvisionnement en eau de quatre façons : i) les systèmes défectueux; ii) dépassement de la capacité; iii) la durée de vie réduite; et iv) disparité entre l'offre et la demande. La rupture de conduites souterraines due au gel ou à la dégradation du pergélisol sont des exemples de systèmes défectueux. Il y a dépassement de capacité lorsque des pluies diluviennes ou des ondes de tempête intenses inondent des actifs et/ou des barrages non linéaires. La durée de vie est réduite lorsque les spécifications de conception originales élaborées pour un environnement climatique stable finissent par se détériorer à un rythme accéléré en raison des changements climatiques (p. ex. changements dans les précipitations, la température et l'humidité). Enfin, en période de sécheresse, l'infrastructure d'approvisionnement en eau peut être mise à rude épreuve en raison de la disparité entre l'offre (moins d'eau de surface et d'eau souterraine disponible en raison de la sécheresse ou d'une diminution de la qualité de l'eau) et la demande, qui augmente (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). L'annexe 3 présente en détail les répercussions possibles de différents dangers liés aux changements climatiques sur l'infrastructure d'approvisionnement en eau du Canada.

Trois grandes catégories de stratégies d'adaptation ont été observées dans la documentation afin de réduire ou d'éliminer les répercussions des changements climatiques sur l'infrastructure d'approvisionnement en eau. Ces **stratégies d'adaptation sont i) l'utilisation d'outils d'évaluation et de surveillance, ii) l'intégration d'infrastructures naturelles à des infrastructures bâties et/ou le déclassement ou le remplacement d'infrastructures bâties, et iii) la mise en place de systèmes de redondance (secours d'urgence).** L'utilisation d'approches d'évaluation des risques comme la norme ISO 31000 sur la gestion des risques ou le protocole du CVIIP, ainsi que d'outils de surveillance comme la cartographie du pergélisol ou la gestion de la demande en eau, contribuent à la conception ou à la modernisation des infrastructures d'approvisionnement en eau dans un climat changeant. L'intégration de l'infrastructure naturelle (voir la section 3.2.7) comme les terres humides, les toits verts et les



forêts urbaines, ainsi que l'infrastructure bâtie, peuvent être efficaces pour les programmes de conservation de l'eau (Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017). Enfin, compte tenu de la nature critique de l'infrastructure d'approvisionnement en eau, la mise en place d'une infrastructure à sécurité intégrée, comme un système de secours électrique d'urgence pour une station de pompage, est une stratégie proactive pour s'adapter aux changements climatiques et veiller à ce que l'installation continue de fonctionner. L'annexe 3 présente également en détail les types de stratégies d'adaptation qui peuvent être entreprises pour réduire (ou éliminer) les répercussions des dangers liés aux changements climatiques sur l'infrastructure d'approvisionnement en eau du Canada, dont les exemples sont fournis dans le tableau 3.

Tableau 3. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure d'approvisionnement en eau

Danger climatique	Exemples d'impacts sur l'infrastructure	Exemples d'options en matière de résilience
Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Des coupures de courant dues aux tempêtes affectant les stations de pompage • Réduction de l'intégrité structurale et/ou accélération de la détérioration des barrages 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentations de secours améliorées et redondantes • Adopter des adaptations structurelles aux barrages, déversoirs et canaux de drainage
Détérioration du pergélisol	<ul style="list-style-type: none"> • Rupture de conduites d'eau et de réservoirs de stockage 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'une isolation en polystyrène sous les routes
Ondes de tempête et élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> • Inondation des infrastructures de la station d'épuration 	<ul style="list-style-type: none"> • Murs de mer, digues, murs de protection contre les inondations, levées, barrières locales contre les surtensions, etc.
Sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la source d'eau potable • Fissuration des barrages en terre, augmentant le risque d'inondation 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion de la demande et utilisation des infrastructures naturelles • Adaptations structurelles des barrages, déversoirs et canaux de drainage

3.2.4 Infrastructures liées aux eaux usées et aux eaux pluviales

INSTALLATIONS DE TRAITEMENT, PONCEAUX, ÉGOUTS, ÉGOUTS PLUVIAUX, TUYAUX ET STATIONS DE RELÈVEMENT

Les Canadiens dépendent fortement des infrastructures urbaines pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales. En 2018, un inventaire des infrastructures canadiennes de traitement des eaux usées et des eaux pluviales énumérait plus de 38 000 installations de traitement des eaux usées et des eaux pluviales (actifs non linéaires : 19 000 stations de traitement des eaux usées, réservoirs de stockage, stations de pompage et stations de relèvement, plus 19 500 stations de pompage



des eaux pluviales, étangs/terres humides et installations au point de rejet). De plus, le réseau de distribution s'étend sur plus de 600 000 km (actifs linéaires : 426 000 km de conduites d'eaux usées et de conduites principales forcées, ainsi que 175 000 km de ponceaux, de fossés et de conduites d'eaux pluviales). Selon l'étude de 2018, environ 11 % des actifs linéaires sont jugés en mauvais ou en très mauvais état. L'étude n'a pas fourni le pourcentage d'actifs non linéaires qui sont considérés comme étant en mauvais ou en très mauvais état, mais a plutôt simplement indiqué que les deux tiers étaient en bon ou en très bon état (Statistique Canada, 2020).

Les infrastructures de traitement des eaux usées et des eaux pluviales sont touchées par de nombreux dangers climatiques majeurs et mineurs. Les principaux problèmes comprennent les événements critiques, comme des installations de traitement des eaux inondées et/ou des conduites brisées dans le réseau de distribution, et la défaillance du réseau, comme lorsque les ponceaux et les égouts sont submergés par les volumes de précipitations et/ou lorsque le traitement des eaux usées est incapable de désinfecter les affluents plus concentrés. Un événement critique peut se produire dans les usines de traitement des eaux usées qui sont habituellement construites à de faibles altitudes pour utiliser la collecte des eaux usées par gravité; avec les risques accrus d'inondation, ces usines sont plus vulnérables aux perturbations ou à la réduction de l'efficacité. Les cycles de gel-dégel et la dégradation du pergélisol peuvent causer des déplacements importants du sol (instabilité) qui peuvent causer la rupture des conduites. En même temps, des précipitations plus intenses combinées à une urbanisation croissante (c.-à-d. une surface plus imperméable) peuvent entraîner un écoulement de surface contaminé dans les zones dotées de réseaux d'égouts combinés (eaux usées et eaux pluviales). De plus, les conditions climatiques changeantes devraient avoir une incidence sur le traitement et l'élimination des eaux usées (p. ex. les températures élevées des cours d'eau, combinées à des débits plus faibles, peuvent entraîner des affluents plus élevés qui nécessitent un traitement accru pour respecter les normes de qualité de l'eau) (Melillo et coll., 2014). L'annexe 4 présente les dangers liés aux changements climatiques et leur incidence potentielle sur l'infrastructure des eaux usées et des eaux pluviales du Canada.

En plus d'utiliser des approches d'évaluation des risques comme la norme ISO 31000 ou l'équivalent à l'étape de la planification, la norme S900.1-2018 de la CSA sur l'adaptation aux changements climatiques pour les stations d'épuration peut aider à assurer une plus grande résilience aux changements climatiques, tout comme la prise en compte de solutions d'infrastructure naturelle (voir la section 3.2.7). La documentation suggère également qu'il existe **deux principaux moyens d'adapter l'infrastructure de traitement des eaux usées et des eaux pluviales à un climat changeant** en se fondant sur la modélisation des futurs taux de précipitations, de dégel et de gel et de sécheresse. Un moyen consiste à adapter les systèmes traditionnels de gestion de l'eau en augmentant la capacité (p. ex. augmenter la taille des égouts pluviaux et des ponceaux; séparer les égouts d'eaux usées et les égouts pluviaux) et en construisant une infrastructure de protection (p. ex. construction de digues pour protéger les installations contre les inondations, déplacement des pompes et des tuyaux vers des hauteurs plus élevées, installation de systèmes d'urgence de secours). Un deuxième moyen consiste à utiliser d'autres approches de gestion de l'eau, y compris l'infrastructure naturelle (p. ex. plantation



de forêts urbaines, toits verts, utilisation du captage et du stockage de l'eau pour utilisation sur place, réacheminement et ralentissement du volume de ruissellement par l'utilisation de terres humides artificielles et de terres biologiques). Ces deux moyens peuvent être utilisés séparément ou ensemble dans le cadre d'un programme de gestion des actifs (Mercer Clarke et Clarke, 2018). Le tableau 4 présente diverses stratégies pour réduire l'impact des dangers liés aux changements climatiques sur l'infrastructure des eaux usées et des eaux pluviales du Canada, avec plus de détails disponibles dans l'annexe 4.

Tableau 4. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure des eaux usées et des eaux pluviales

Danger climatique	Exemples d'impacts sur l'infrastructure	Exemples d'options en matière de résilience
Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> La température plus élevée des cours d'eau et la diminution de leur débit conduisent à des affluents plus concentrés, plus difficiles à désinfecter 	<ul style="list-style-type: none"> Appliquer des solutions d'infrastructure naturelle (toits verts, forêts urbaines) pour augmenter la capacité d'assimilation des cours d'eau récepteurs
Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> Dépassement des systèmes d'eaux pluviales/drainage 	<ul style="list-style-type: none"> Augmenter la capacité des systèmes d'eaux pluviales et drainage Réduire ou verdir les surfaces imperméables (par exemple, les toits, les aires de stationnement)
Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la fréquence, de la durée et de la gravité des fissures thermiques et de l'orniérage 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser des matériaux à changement de phase pour réduire le nombre de cycles de congélation/décongélation
Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> Structures endommagées ou inondées qui réduisent l'efficacité du traitement 	<ul style="list-style-type: none"> Solutions d'infrastructures hybrides construites et naturelles (par exemple, bermes en terrasses, cloisons, rechargement des plages, brise-lames en mer)

3.2.5 Infrastructure maritime

PORTS, CANAUX, QUAIS, JETÉES, OUVRAGES DE PROTECTION

Le littoral du Canada s'étend sur plus de 243 000 km, ce qui en fait le plus long au monde. Les régions côtières de l'Atlantique, du Pacifique et de l'Arctique sont caractérisées par des zones côtières relativement étroites contenant des baies et des eaux peu profondes (Greenan et coll., 2019; Lemmen et coll., 2016). L'infrastructure maritime joue un rôle important dans les économies nationales et régionales du Canada, avec 550 installations portuaires réparties dans tout le pays. En 2017, le transport maritime représentait près de 90 milliards de dollars canadiens



en exportations internationales et 110 milliards de dollars canadiens en importations (Transports Canada, 2019).

À mesure que le climat change, l'**infrastructure maritime sera touchée par des phénomènes météorologiques** comme les ondes de tempête, les vents forts et les inondations à marée haute; **des changements graduels du paysage** causés par l'érosion et l'élévation du niveau de la mer (CCA, 2019) et par **des phénomènes météorologiques terrestres** comme les inondations qui affectent l'accès au port et le transport des personnes et des marchandises à destination et en provenance de la côte (Lemmen et coll., 2016). À mesure que ces dangers climatiques deviendront plus fréquents et plus intenses, ils entraîneront des dommages coûteux et pourraient rendre les infrastructures inutilisables (Ford et coll., 2018). Étant donné que des marchandises totalisant environ 400 milliards de dollars canadiens sont expédiées chaque année par les ports du Canada, les infrastructures inopérantes peuvent avoir des répercussions économiques importantes partout au pays (Lemmen et coll., 2016).

À l'instar d'autres types d'infrastructure, l'infrastructure maritime est touchée par des événements critiques liés au climat, une intégrité structurale compromise et une durée de vie réduite. Dans le Nord, les saisons prolongées sans glace offriront plus de possibilités d'exploration des ressources et de transport dans les eaux arctiques (Conseil de l'Arctique, 2019). Toutefois, les infrastructures maritimes nouvelles et existantes seront particulièrement touchées par l'augmentation de la fonte du pergélisol, le mouvement de la couverture de glace de mer, l'évolution des cycles de gel-dégel, les pluies intenses et les tempêtes, et devront donc s'adapter aux nouvelles conditions (Lemmen et coll., 2016). La région côtière intérieure des Grands Lacs est aussi un secteur particulièrement préoccupant, car elle abrite la région la plus peuplée du Canada. À mesure que la région connaît des variations extrêmes entre la sécheresse et les pluies abondantes (Groupe de travail sur les enjeux émergents du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 2017), la probabilité de bas niveaux d'eau semblables à ce qui s'est produit en 2014 sera plus grande, ce qui causera des problèmes de navigation et de capacité des navires (Lemmen et coll., 2016). Les précipitations supérieures à la moyenne dans l'ensemble de l'Ontario peuvent entraîner des niveaux d'eau supérieurs à la moyenne pour les lacs Supérieur, Michigan-Huron, Sainte-Claire et Érié (Zuzek, 2020b). La réduction de la couverture de glace du lac causée par la hausse des températures pourrait entraîner une augmentation des répercussions des inondations et de l'érosion liées aux tempêtes sur les infrastructures riveraines et les collectivités, car la glace joue un rôle essentiel dans la protection des infrastructures riveraines contre les répercussions des vagues (Zuzek, 2020a).

L'analyse documentaire a montré qu'il y a **cinq types de stratégies d'adaptation à prendre en considération pour la protection des infrastructures maritimes contre les dangers climatiques, à savoir la procédure, l'évitement, les mesures d'adaptation, la protection et le retrait**. Ces stratégies font appel à des outils d'ingénierie et de planification de l'utilisation des terres qui intègrent des cadres de planification, le renforcement des capacités, la réglementation, le changement d'affectation des terres et des outils de conception pour gérer



l'érosion et les inondations, la régression localisée du niveau de la mer, la fonte du pergélisol et l'évolution des cycles gel-dégel.

Les approches procédurales comprennent des programmes de renforcement des capacités qui renseignent le public sur les changements climatiques, la collecte de données climatiques et l'organisation à l'appui de la prise de décisions, des cadres de planification, des règlements et des changements d'affectation des terres, ainsi que des outils de conception de sites. Ces approches peuvent appuyer les outils d'adaptation d'ingénierie en les intégrant à une stratégie d'adaptation plus vaste (Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique, 2017; van Proosdij et coll., 2016). Des outils d'ingénierie comme le protocole du CVIIP peuvent aider à déterminer les points critiques de vulnérabilité et les risques potentiels pour les infrastructures maritimes nouvelles et existantes (CAC, 2019).

Les stratégies d'évitement englobent la cartographie des zones côtières afin d'éviter un développement accru dans les zones très vulnérables. Ces stratégies sont particulièrement appropriées lorsqu'on envisage de nouvelles infrastructures (Palko et Lemmen, 2017; van Proosdij et coll., 2016).

Les stratégies d'adaptation comprennent la gestion de l'infrastructure physique pour tenir compte des effets des dangers climatiques et des modifications pour gérer l'érosion du paysage. Ces stratégies peuvent être appuyées par l'utilisation d'infrastructures naturelles, comme des récifs artificiels, des plages perchées, des rivages vivants, des terres humides, des fossés de drainage, des étangs de rétention et des jardins pluviaux. Les structures physiques peuvent intégrer des éléments de conception pour réduire l'érosion et prévenir les inondations, en utilisant une conception souple et plus résistante aux impacts pour permettre une augmentation graduelle de la protection contre les ondes de tempête et l'élévation du niveau de la mer.³ Les ouvrages de protection, les quais et les murs de soutènement sont les plus vulnérables aux dommages causés par le déboisement et l'érosion et pourraient nécessiter des mesures correctives pour élever la crête de la structure ou construire une pente plus plate (Ford et coll., 2017; Leys et Bryce 2016).

Les stratégies de protection sont généralement axées sur les modifications du paysage visant à réduire les répercussions du climat sur l'infrastructure et l'environnement, y compris l'utilisation d'une infrastructure hybride. Les adaptations physiques visant à réduire l'érosion comprennent les brise-lames perpendiculaires et littoraux, les murs de soutènement, les récifs artificiels littoraux, les épis et les affleurements ou gabions artificiels. La protection contre les inondations peut être assurée par des digues, des milieux humides artificiels et des barrières de marée (Leys et Bryce 2016). Les conceptions de bâtiments visant à protéger contre l'érosion et les inondations comprennent la protection contre l'affouillement et le blindage par enrochement. Toutefois, l'utilisation de ces mesures devrait faire l'objet d'un examen rigoureux afin de réduire les répercussions imprévues sur les processus et les écosystèmes côtiers naturels (CCME, 2018). Les côtes peuvent également être protégées au moyen de barrières comme des sacs de sable, des

³ Des exemples de stratégies de conception souples comprennent l'ajout de roches, l'élévation des structures, la modernisation des fondations des pieux et des cadres spatiaux, et des bâtiments flottants.



rochers et même des navires coulés afin de réduire les impacts des vagues. Toutefois, lorsque ces stratégies sont insuffisantes, il peut être nécessaire d'utiliser la stratégie finale – le retrait – et de relocaliser les infrastructures vulnérables pour prévenir les dommages (Palko et Lemmen, 2017).

Le tableau 5 donne un aperçu des stratégies d'adaptation qui peuvent être utilisées pour gérer les effets des dangers climatiques sur l'infrastructure maritime. Une analyse plus détaillée des risques climatiques sur l'infrastructure maritime, ainsi que des stratégies de réduction des risques possible sont fournies dans l'annexe 5.

Tableau 5. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure maritime

Danger climatique	Exemples d'impacts sur les infrastructures	Exemples d'options en matière résilience
Changement des températures saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité des sols et des pentes et mouvements/écoulements de terrain causés par la fonte du pergélisol 	<ul style="list-style-type: none"> • Des remblais plus épais et une nouvelle conception des infrastructures adaptées aux environnements de pergélisol
Ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> • Inondation des ports et autres infrastructures côtières • Augmentation des dommages causés par les vagues aux quais et autres structures d'amarrage 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer les considérations relatives aux inondations dans la conception des bâtiments et des infrastructures • Restaurer activement l'habitat du littoral (c'est-à-dire les dunes, les marais salés)
Changements de la glace de mer	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du trafic maritime dans les eaux arctiques en raison de la diminution de la glace de mer accroît la demande de ports nordiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Prévision de la demande et planification de la navigation et des installations portuaires dans l'Arctique
Fluctuations du niveau des eaux intérieures	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse des niveaux d'eau entraînant une réduction de la capacité des navires 	<ul style="list-style-type: none"> • Investir dans des technologies d'augmentation du débit, et augmenter le dragage des canaux

3.2.6 Infrastructures énergétiques et TIC

TRANSMISSION, HYDRO, ÉNERGIE ÉOLIENNE, ÉNERGIE SOLAIRE, PÉTROLE ET GAZ, DONNÉES ET INTERNET SANS FIL

L'infrastructure énergétique et des TIC est essentielle à la santé et à la sécurité des collectivités canadiennes et sert de fondement à l'économie canadienne. En 2021, les projets d'infrastructure électrique à eux seuls comprenaient six des dix plus grands projets d'infrastructure au Canada, totalisant des coûts estimés à 64,4 milliards de dollars canadiens (ReNew Canada, 2021). Le Canada présente d'importantes lacunes nationales en matière de connectivité Internet pour les collectivités rurales et éloignées, un service essentiel pour les communications personnelles et commerciales, la sécurité publique et – comme la pandémie de COVID-19 l'a prouvé – pour



l'apprentissage à distance. En réponse, la Stratégie canadienne pour la connectivité a été publiée en 2019 par le gouvernement fédéral avec une enveloppe de 1,7 milliard de dollars canadiens en nouveau financement pour améliorer l'accès à 900 collectivités, dont 190 collectivités autochtones (Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2019).

À l'instar de l'infrastructure d'approvisionnement en eau, les **changements climatiques peuvent avoir une incidence sur l'infrastructure énergétique en raison des répercussions physiques sur les composantes de l'infrastructure et des répercussions sur les sources d'énergie et la demande d'énergie**. L'éventail des dangers, impacts et options d'adaptation liés aux changements climatiques pour l'infrastructure énergétique et des TIC est présenté dans l'annexe 6 et discuté ci-dessous.

Électricité. En 2016, l'Association canadienne de l'électricité (ACE) a publié le document « Adaptation aux changements climatiques : Bilan de la situation et recommandations pour le secteur de l'électricité au Canada ». Ce rapport avertit que les changements climatiques entraîneront probablement une augmentation des coûts le long de la chaîne de valeur en raison des infrastructures endommagées, des coûts d'assurance plus élevés, de la pénurie d'eau, des responsabilités juridiques et de l'évolution des normes réglementaires (ACE, 2016). De même, l'ACE a signalé que des événements comme les vents violents, les inondations, l'accumulation excessive de glace, la grêle et la chaleur et le froid extrêmes ont déjà une incidence sur l'intégrité et la fiabilité des réseaux électriques, et que ces risques devraient augmenter avec les changements climatiques (Groupe CSA, 2019f). Bien que la mise en œuvre de mesures d'adaptation puisse être coûteuse, il a été souligné que les coûts initiaux seront moins élevés que l'inaction. De plus, une grande partie de l'infrastructure électrique du Canada vieillit, et la plupart des infrastructures non hydroélectriques doivent être renouvelées ou remplacées d'ici 2050 (ACE, 2016).

Selon l'ACE, les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures électriques se produisent dans trois catégories, soit i) la demande, ii) la production et iii) l'infrastructure de transport et de distribution d'électricité (ACE, 2016). En ce qui concerne la demande, le rapport souligne que les variations des températures moyennes et extrêmes peuvent augmenter la demande estivale pour la climatisation, y compris la demande de pointe, mais aussi diminuer la demande de chauffage en hiver. En ce qui concerne la production, les changements climatiques peuvent avoir une incidence sur la disponibilité des ressources et l'efficacité opérationnelle. Plusieurs risques pèsent sur la transmission, la distribution et l'infrastructure de soutien en raison de l'augmentation des températures, des dommages causés par la tempête de verglas, des changements dans les précipitations, de la fonte du pergélisol et des vents plus forts.

Certains impacts des changements climatiques sont propres à divers types d'infrastructures électriques, par exemple :

- **Barrages hydroélectriques** : Le Canada étant le deuxième producteur d'énergie hydroélectrique en importance au monde, la sécurité des barrages est un facteur important. Il y a plus de 15 000 barrages au Canada, dont 1 157 sont définis comme étant « grands », et la majorité ont été élaborés dans le cadre de projets hydroélectriques



(Association canadienne des barrages, 2019). Les changements climatiques peuvent accroître la probabilité de défaillance des barrages. Par exemple, les fluctuations de température peuvent entraîner des contraintes mécaniques supplémentaires dans les barrages en béton, et les sols plus secs et les fluctuations du niveau de l'eau peuvent augmenter les processus comme l'érosion interne des barrages de remblai (Fluixa-Sanmartin et coll., 2018).

- **Production d'énergie thermique et nucléaire** : Au fur et à mesure que la température de l'air et de l'eau augmente, les centrales thermiques et nucléaires peuvent avoir besoin de plus d'eau pour se refroidir, mais elles peuvent aussi être plus limitées par la réglementation sur la façon dont elles peuvent utiliser et évacuer l'eau, ce qui peut entraîner la réduction et la fermeture des centrales (ACE, 2016).
- **Énergie éolienne** : La glace sur les pales des éoliennes peut nuire au rendement et à la durabilité. La conception de l'éolienne sera influencée par l'intensité prévue de la turbulence, le cisaillement du vent et les conditions de vent transitoires, comme la vitesse du vent ou les changements de direction (Solaun et Cerdá, 2019).
- **Énergie solaire** : Les changements dans l'irradiation solaire et la nébulosité influeraient sur la production d'énergie solaire, tandis que la grêle pourrait endommager les panneaux photovoltaïques. Une augmentation de la saleté, de la poussière, de la neige et des particules atmosphériques diminuerait la production d'énergie (Solaun et Cerdá, 2019).

Pétrole et gaz. Les changements climatiques peuvent avoir une incidence sur l'infrastructure pétrolière et gazière de diverses façons, notamment dans les zones d'exploration (c.-à-d. augmentation de la charge des vagues océaniques), la production (c.-à-d. retards d'accès au site dans les régions du Nord en raison de la fonte du pergélisol et de la détérioration des routes de glace), le transport et les terminaux (c.-à-d. variation de la charge de glace, dommages aux installations côtières), les pipelines (c.-à-d. affaissement dû au dégel et soulèvement dû au gel, feux de forêt) et le raffinage et le traitement (c.-à-d. perte d'accès à l'eau, inondation, perte de la capacité de refroidissement de pointe) (Association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement, 2013).

TIC. Bien que les infrastructures liées aux TIC subiront des répercussions des changements climatiques semblables à celles des infrastructures de transport et de distribution d'électricité (ACE, 2016), certaines de ces répercussions seront propres au secteur. Par exemple, l'augmentation des températures maximales quotidiennes peut causer une surchauffe dans les centres de données, les échanges et les stations de base si la capacité des systèmes de refroidissement est dépassée (Horrocks et coll., 2010). De plus, l'augmentation des températures quotidiennes moyennes peut faire en sorte que l'emplacement et la densité des mâts pour la communication sans fil ne soient plus optimaux puisque la transmission sans fil dépend de la température et peut avoir une incidence sur la propagation des radiofréquences si la densité du feuillage augmente (Horrocks et coll., 2010).



Mesures d'adaptation. La revue de la littérature appuie le fait que les mesures d'adaptation à l'infrastructure énergétique et des TIC peuvent être réalisées par la planification et l'évaluation, les changements structurels à l'infrastructure et la surveillance et l'entretien continus (voir l'annexe 6, ainsi que les exemples dans le tableau 6). Pour la planification et l'évaluation, par exemple, appliquer la norme ISO 31000 sur la gestion des risques (ou une norme similaire) pour aider les ingénieurs à déterminer quels éléments d'infrastructure présentent les risques les plus élevés et nécessitent des solutions d'adaptation (ACE, 2016) et appliquer des directives pour intégrer les données climatiques dans la modélisation de la valeur énergétique (Fournier et coll., 2020). De plus, l'installation de microréseaux peut permettre aux collectivités de se séparer des réseaux centraux qui ne leur conviennent pas et de se connecter à des sources secondaires (Hendel-Blackford et coll., 2017). Les changements structurels visant à accroître la résilience des infrastructures énergétiques et des TIC comprennent des mesures telles que le renforcement de toutes les infrastructures sujettes aux inondations et l'enfouissement des lignes de transmission et de distribution dans la mesure du possible. Les mesures de surveillance et d'entretien continues comprennent des efforts comme l'installation de moniteurs visuels pour détecter la charge de glace, l'augmentation du courant avant la charge de glace pour faire fondre la glace, l'utilisation de la technologie du réseau intelligent pour avoir savoir précisément où se trouve l'infrastructure défaillante et le déneigement prévu des panneaux solaires.

Tableau 6. Exemples des dangers climatiques, impacts et options de résilience pour l'infrastructure énergétique et des TIC

Danger climatique	Exemples d'impacts sur l'infrastructure	Exemples d'options en matière de résilience
Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> • Surchauffe dans les centres de données TIC, les centraux, les stations de base • Les fluctuations du niveau d'eau et les sols plus secs peuvent accroître l'érosion interne des barrages en remblai 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter la capacité du système de refroidissement • Amélioration de la surveillance et de la gestion de la sécurité des barrages
Augmentation des températures saisonnières entraînant la détérioration du pergélisol et modifiant les cycles de gel et de dégel	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des fondations des pylônes de transmission et dommages aux voûtes souterraines et aux chambres de câbles 	<ul style="list-style-type: none"> • Modifier la conception des structures pour permettre l'ajustement des tours en cas de déplacement dû au dégel du pergélisol



Danger climatique	Exemples d'impacts sur l'infrastructure	Exemples d'options en matière de résilience
Modification du régime des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations de centrales et de sous-stations de production d'énergie et problèmes de performance des vannes de déversement des barrages • Dommages aux câbles en cuivre et en fibre optique 	<ul style="list-style-type: none"> • Surélever les sous-stations et les composants de l'infrastructure électrique et améliorer la surveillance et la gestion de la sécurité des barrages • Enterrer les lignes de transmission et de distribution
Tempêtes d'hiver, tempêtes de verglas, tempêtes de vent à grande vitesse	<ul style="list-style-type: none"> • Lignes électriques cassées, poteaux électriques cassés ou tombés, accumulation de glace sur les pales des éoliennes 	<ul style="list-style-type: none"> • Enterrer les lignes de distribution • Installer des microréseaux pour permettre aux collectivités de fonctionner avec des sources secondaires en cas de défaillance des réseaux centraux
Feux de forêt	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages et/ou destruction de lignes et de poteaux de transmission • Conducteurs recuits ou endommagés 	<ul style="list-style-type: none"> • Enterrer le réseau électrique pour éviter les dommages causés par la chaleur extrême et le feu • Débarrasser les zones sujettes aux incendies des broussailles

3.3 Solutions d'infrastructure naturelle

Comme le souligne la section 2.3, les **solutions d'infrastructure naturelle sont de plus en plus recommandées pour améliorer la résilience des collectivités et compléter l'infrastructure bâtie**. À l'échelle internationale, la CMA souligne dans son rapport phare que les solutions fondées sur la nature fonctionnent à la fois pour l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ceux-ci, appelant les gouvernements à : *[traduction]* « mieux faire comprendre la valeur de la nature pour l'adaptation aux changements climatiques; intégrer des solutions fondées sur la nature dans les politiques et la planification d'adaptation; et accroître les investissements dans les solutions fondées sur la nature » (CMA, 2019).⁴ Au Canada, les solutions fondées sur la nature font partie intégrante du plan de lutte contre les changements climatiques renforcé du gouvernement fédéral publié en 2020, qui met l'accent sur le pouvoir de la nature

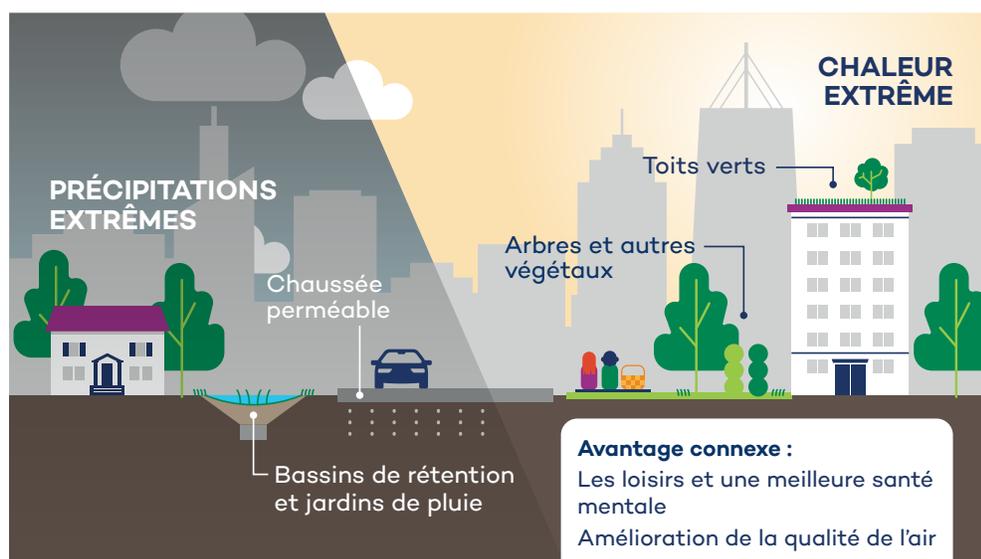
⁴ Le Canada a joué un rôle de chef de file au sein de la CMA en tant que pays rassembleur et a codirigé le Plan d'action de la CMA sur les solutions fondées sur la nature avec le gouvernement du Mexique. Le plan d'action *[traduction]* « a mobilisé des représentants des peuples autochtones tout au long de l'année d'action pour veiller à ce que les connaissances, les droits et le leadership des Autochtones soient essentiels aux efforts visant à augmenter le nombre de solutions fondées sur la nature » (Sommet pour l'adaptation aux changements climatiques, 2021, p. 2). Dans son communiqué final, le Plan d'action demandait aux gouvernements *[traduction]* « d'adopter des engagements concrets de partenariat avec les peuples autochtones pour élaborer des politiques et des programmes liés aux solutions fondées sur la nature » (Sommet pour l'adaptation aux changements climatiques, 2021, p. 4).



de soutenir des familles en meilleure santé et des collectivités plus résilientes (Gouvernement du Canada, 2020).

Divers types d'infrastructures naturelles peuvent être utilisés pour réduire les risques et améliorer la résilience relativement à une gamme de dangers climatiques, comme l'illustre le tableau 7. Par exemple, dans le contexte des tempêtes côtières et des inondations, un rapport d'expert préparé pour le CCME a énuméré des types d'infrastructures naturelles comme les marais salés, les forêts maritimes, les récifs, les plages, les dunes et les solutions hybrides combinant les infrastructures naturelles et grises comme moyens d'améliorer la résilience (ICF, 2018). Les écosystèmes des terres humides côtières peuvent également s'adapter à l'élévation du niveau de la mer en se déplaçant vers la terre ferme, en supposant qu'il y a suffisamment d'espace le long du littoral pour permettre leur déplacement (Horizon Advisors, 2019). Le U.S. Army Corp of Engineers (2015) a recommandé un ensemble similaire de caractéristiques naturelles et fondées sur la nature pour réduire les risques côtiers et accroître la résilience des collectivités. De même, il a été démontré que la conservation des terres humides intérieures est efficace pour réduire les dommages causés par les inondations dans les milieux ruraux et urbains. Une étude menée dans deux sites pilotes du sud de l'Ontario a révélé que les milieux humides naturels pourraient réduire les coûts des dommages causés par les inondations aux bâtiments de 3,5 millions de dollars canadiens (29 %) dans un site rural et de 51,1 millions de dollars canadiens (38 %) dans un site urbain (Moudrak et coll., 2017). Dans le contexte de la gestion des eaux pluviales urbaines, la documentation converge sur un ensemble commun de solutions d'infrastructure naturelle pour réduire les risques et améliorer la résilience, y compris les jardins pluviaux, les rigoles de drainage végétales, les chaussées poreuses/perméables, les arbres, les toits verts et les étangs de biorétention (voir la figure 3).

Figure 3. L'infrastructure naturelle et des solutions hybrides pour accroître la résilience climatique dans les zones urbaines





Au-delà de ces avantages sur le plan de la résilience aux changements climatiques, **l'infrastructure naturelle offre un certain nombre d'avantages environnementaux et sociaux connexes**, comme l'amélioration de la qualité de l'air, une augmentation des espaces récréatifs et d'autres services écosystémiques comme la filtration de l'eau (ICF, 2018). Ces avantages se reflètent dans les conclusions d'un rapport de 2019 commandé par Environnement et Changement climatique Canada (Horizon Advisors, 2019, p. 3) [*traduction*]:

Dans certaines situations, les éléments d'infrastructure naturelle peuvent protéger l'infrastructure bâtie existante; ailleurs, ils peuvent aider à compenser certains des effets environnementaux les plus dommageables de l'infrastructure grise. Dans l'ensemble, ce qui distingue l'infrastructure naturelle, c'est sa capacité de fournir des résultats ciblés en matière d'infrastructure, ainsi que des avantages supplémentaires, notamment l'amélioration de la biodiversité, la protection de l'habitat, l'adaptation au climat, la séquestration du carbone et les services écosystémiques appuyant la santé des collectivités humaines et le fonctionnement des écosystèmes.

Les avantages potentiels de l'infrastructure naturelle comprennent également la croissance verte et la création d'emplois. Par exemple, une évaluation de l'impact économique du secteur de l'infrastructure verte en Ontario a révélé qu'en 2018, le secteur a généré 8,6 milliards de dollars canadiens en production brute (revenus), 4,64 milliards de dollars canadiens en produit intérieur brut direct et employé directement environ 84 400 personnes (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2020). Les biens et services d'infrastructure verte comprenaient l'horticulture paysagère et les espaces ouverts, le patrimoine naturel, les parcs, les forêts urbaines, la gestion des eaux pluviales vertes, les toits et les murs verts, ainsi que les services de soutien intersectoriels qui jouent un rôle essentiel dans ces sous secteurs.

Les ratios avantages-coûts pour diverses formes d'infrastructure naturelle démontrent leur rentabilité dans la réalisation des avantages connexes écosystémiques et sociaux. Par exemple, au Manitoba, des analyses menées au Pelly's Lake ont révélé un ratio avantages-coûts pour ses solutions hybrides de 3,6 (Bassi et coll., 2019) et pour diverses options de stockage de l'eau, y compris le terrassement des fossés, les champs de filtration et les étangs, et les barrages à irrigation en amont, où les ratios avantages-coûts étaient respectivement d'environ 1,9, 1,3 et 3,7 (Dion et McCandless, 2013). De plus, des études menées en Colombie-Britannique ont révélé que les types d'investissements effectués dans les infrastructures de transport, les parcs et les mesures d'aménagement du territoire peuvent réduire considérablement les coûts des soins de santé liés à l'hypertension et aux maladies cardiaques, soit respectivement de 47 % et 31 % de moins pour les zones piétonnières et les zones tributaires de l'automobile (UBC Health & Community Design Lab, 2019).

Il est également important de noter que les solutions d'infrastructure naturelle peuvent elles-mêmes être affectées par divers dangers climatiques. Par conséquent, les options de résilience liées à la planification et à l'évaluation, aux changements structurels, ainsi qu'à la surveillance et à l'entretien continus pourraient devoir être envisagées à peu près de la même façon que les infrastructures bâties à la section 3.2. Compte tenu de la fréquence et de l'intensité



des dangers climatiques comme la sécheresse, les inondations, les tempêtes et les feux de forêt qui augmentent en raison des changements climatiques, les répercussions peuvent se reproduire avant qu'une composante de l'infrastructure naturelle ait eu la chance de se rétablir, surtout lorsqu'elle est exacerbée par l'utilisation des terres, la pollution et d'autres facteurs de stress socioéconomiques (Seddon et coll., 2020). Du point de vue de la planification, les modèles écologiques et l'analyse de scénarios peuvent être utilisés pour prévoir les répercussions sur les composantes d'infrastructure naturelle dans le cadre de différents scénarios de changements climatiques (Chausson et coll., 2020) et les modifications de conception peuvent être intégrées au besoin (c.-à-d. espèces plus résistantes à la sécheresse, aux inondations ou au froid). De plus, la sensibilité de l'infrastructure naturelle peut être réduite en réduisant les facteurs de stress socioéconomiques sur le système, notamment la pollution, les espèces envahissantes, la perte et la fragmentation de l'habitat et la surexploitation (Seddon et coll., 2020). Des options de résilience structurelle peuvent être mises en œuvre pour accroître la diversité des écosystèmes, comme les cultures d'arbres à espèces multiples pour les brise-vent éoliens et de neige, ou en permettant aux zones dégradées de se régénérer naturellement (Seddon et coll., 2020). Comme dans le cas de l'infrastructure bâtie, la surveillance et l'entretien réguliers peuvent accroître la résilience des solutions d'infrastructure naturelle, en particulier la gestion active pour promouvoir la régénération des écosystèmes à la suite d'un stress climatique (Seddon et coll., 2020).



Tableau 7. Solutions d'infrastructure naturelle pour réduire l'exposition et la vulnérabilité aux dangers liés aux changements climatiques

Danger climatique	Solutions d'infrastructure naturelle
Élévation du niveau de la mer, tempêtes et inondations côtières, perte de la couverture de glace ^{1,2,3,4,5,6}	<ul style="list-style-type: none"> • Récifs artificiels • Récifs d'huîtres et de coraux • Rives vivantes • Marécages salés • Milieux humides • Végétation aquatique submergée • Forêts et communautés d'arbustes maritimes • Plages et dunes • Îles-barrières • Stabilisation par les plantes • Remblayage des plages • Plage perchée (rendue possible par un seuil immergé)
Inondation riveraine ^{4,5,6}	<ul style="list-style-type: none"> • Restauration de la plaine inondable • Restauration/conservation/construction des terres humides • Zones de recul • Canaux à deux niveaux • Canaux d'évacuation des crues • Structures en cours d'eau • Végétation et ensemencement des rives • Reboisement et conservation des forêts • Bandes riveraines • Reconnecter les rivières aux plaines inondables • Mise en place de dérivations d'inondation
Augmentation des eaux pluviales (urbaines et rurales) à la suite d'événements de précipitations extrêmes ^{4,5,6}	<ul style="list-style-type: none"> • Toits verts • Rigoles de drainage biologiques • Bassins de biorétention • Jardin pluvial • Récupération de l'eau • Arbres urbains • Baissières herbeuses • Espaces verts (biorétention et infiltration) • Pavés perméables • Restauration/conservation/construction des terres humides
Chaleur extrême ^{4,6}	<ul style="list-style-type: none"> • Arbres et autres végétaux • Toits verts • Toits hybrides verts et blancs/réfléchissants



Danger climatique	Solutions d'infrastructure naturelle
Sécheresse ^{5,13,14,15,16,17}	<ul style="list-style-type: none"> • Reboisement et conservation des forêts • Reconnecter les rivières aux plaines inondables • Restauration/conservation/construction des terres humides • Récupération de l'eau • Espaces verts (biorétention et infiltration) • Pavés perméables • Bandes riveraines • Rétablir la profondeur de la nappe phréatique (fossés de remplissage, canaux) • Promouvoir les espèces indigènes résistantes à la sécheresse
Érosion causée par le vent et les tempêtes ^{4,7,8,17,18,19}	<ul style="list-style-type: none"> • Murs d'arbres/brise-vent/paravents • Agroforesterie et terres à bois agricoles, y compris les cultures en bandes • Accroître la diversité des espèces d'arbres • Gérer les peuplements d'âge irrégulier
Feux de forêt ^{9,10,11,12,17,20,21,22,23}	<ul style="list-style-type: none"> • Pare-feux verts • Systèmes de freins à carburant et zones tampons • Espaces ouverts et ceintures de verdure • Incendie dirigé pour réduire l'intensité des incendies futurs • Promouvoir les espèces indigènes résistantes au feu, le cas échéant
Érosion due à l'eau ⁵	<ul style="list-style-type: none"> • Reboisement et conservation des forêts • Bandes riveraines • Reconnecter les rivières aux plaines inondables

Sources: ¹USACE, 2015; ²USACE, 2013; ³Leys & Bryce, 2016; ⁴ICF, 2018; ⁵Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2014; ⁶Environmental and Energy Study Institute, 2019; ⁷Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2010; ⁸Bellet, 2013; ⁹Cui et al., 2019; ¹⁰Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2002; ¹¹USDA, 2011; ¹²Intelli-feu Canada, 2003; ¹³Parcs Canada, 2021; ¹⁴Chimner et al., 2019; ¹⁵Schimelpfenig et al., 2014; ¹⁶Howie et al., 2009; ¹⁷Conseil canadien des ministres des forêts, 2009; ¹⁸Messier et al., 2019; ¹⁹Lafond et al., 2014; ²⁰Halofsky et al., 2020; ²¹Gillson et al., 2019; ²²Enright et al., 2014; ²³Guiterman et al., 2018.

4.0

Politiques, pratiques et financement à l'appui des infrastructures résilientes aux changements climatiques

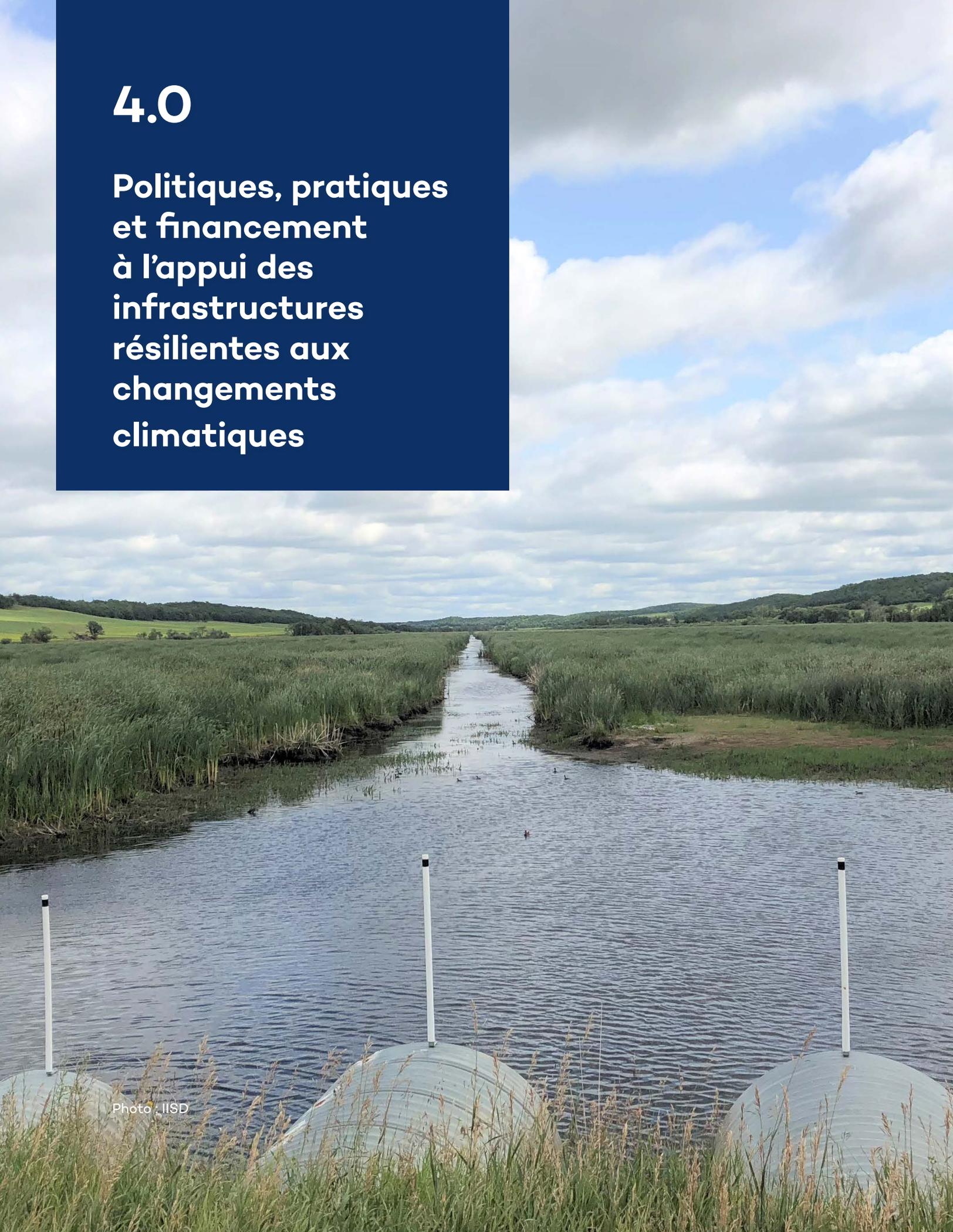


Photo : IISD



La lutte contre les changements climatiques prend de l'ampleur au Canada et à l'échelle internationale depuis quelques décennies. Un moment décisif s'est produit en 2015, lorsque l'Accord de Paris en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (avec ses 17 ODD), le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe, et le Programme d'action d'Addis-Abeba pour le financement du développement ont tous été signés. Chacun de ces accords, approuvés par tous les États membres des Nations Unies à l'époque, a souligné l'importance de renforcer la résilience aux changements climatiques et aux autres dangers, sous une forme ou une autre. Cette convergence des politiques internationales, ainsi que les preuves de plus en plus nombreuses de l'urgence de commencer à s'adapter aux répercussions actuelles et futures des changements climatiques, a entraîné une intensification des efforts déployés par les pays du monde entier pour accélérer les efforts visant à renforcer la résilience de leurs infrastructures, économies et sociétés.

Un autre indicateur important de l'attention accrue accordée aux risques (et aux possibilités) associés aux impacts des changements climatiques peut être observé dans le discours sur les finances internationales et nationales. De nos jours, des termes comme « investissement tenant compte du risque » et « financement durable » deviennent courants. En Europe, par exemple, la Commission européenne (CE) a lancé son processus de consultation sur une stratégie de financement durable (CE, 2020) en 2020, en s'appuyant sur son Plan d'action 2018 : Financement de la croissance durable (CE, 2018). Ce dernier appelait à des actions concrètes liées à la réorientation des flux de capitaux vers une économie plus durable, à l'intégration de la durabilité dans la gestion des risques (y compris le risque climatique) et à la promotion de la transparence et du long terme. L'attention croissante accordée aux changements climatiques dans le secteur financier est également mise en évidence par la formation de groupes tels que le Groupe de travail sur les divulgations financières liées au climat (GTDFC, 2017), l'International Platform on Sustainable Finance (Plateforme internationale sur le financement durable) lancée par la Commission européenne en collaboration avec les gouvernements de l'Argentine, du Canada, du Chili, de la Chine, de l'Inde, du Kenya et du Maroc (CE, 2019), et le Comité technique de l'ISO sur le financement durable (ISO/TC 322, 2020).

Dans ce contexte d'engagements internationaux et d'urgence croissante, les mesures prises à l'échelle du gouvernement fédéral et des provinces, des territoires et des collectivités autochtones pour accroître la résilience des infrastructures aux changements climatiques prennent de l'ampleur. La présente section fait le point sur l'éventail de politiques, de lignes directrices et de mécanismes de financement qui sont apparus au niveau fédéral au Canada à l'appui des infrastructures résilientes aux changements climatiques. Elle fournit également des exemples d'approches internationales visant à promouvoir des infrastructures résilientes aux changements climatiques qui peuvent éclairer les mesures prises au Canada. Un examen exhaustif des politiques, des lignes directrices et du financement mis en œuvre par les provinces, les territoires, les municipalités et les collectivités autochtones n'a pas été possible dans le cadre du présent rapport.



4.1 Politiques, cadres, stratégies et plans

Au Canada et à l'échelle internationale, un certain nombre de politiques, de cadres, de stratégies et de plans récemment mis en place orientent les mesures gouvernementales sur la nécessité d'accroître la résilience des infrastructures aux changements climatiques. La présente section décrit les mesures stratégiques fédérales au Canada avant de donner quelques exemples d'initiatives multilatérales, régionales et nationales en cours à l'extérieur du Canada.

4.1.1 Mesures stratégiques fédérales

Au cours de la dernière décennie, le gouvernement du Canada a mis en place un éventail de politiques, de cadres et de mécanismes de réglementation pour faire progresser l'adaptation aux changements climatiques dans l'ensemble des ministères fédéraux et appuyer les efforts des gouvernements provinciaux, territoriaux et municipaux, des gouvernements autochtones, du secteur privé et des intervenants communautaires. Le **Cadre stratégique fédéral sur l'adaptation aux changements climatiques** publié en 2011 a aidé à établir les paramètres du rôle initial du gouvernement fédéral dans la planification et l'action en matière d'adaptation au Canada. Ce document « guide les mesures prises à l'échelle nationale par le gouvernement du Canada relativement à l'adaptation aux impacts de la variabilité et des changements climatiques » (ECCC, 2011a, p. 1). Le but de ce cadre stratégique est d'appuyer l'intégration des facteurs d'adaptation aux changements climatiques dans les processus fédéraux; de définir le rôle du gouvernement fédéral par rapport aux autres ordres de gouvernement, au secteur privé et à la société civile; et de veiller à ce que la planification de l'adaptation soit au premier plan des activités du gouvernement fédéral (ECCC, 2011a).

En 2016, le Canada a publié le **Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques** (CPCPCC) pour guider les efforts nationaux en matière de changements climatiques. Élaboré en collaboration avec les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, le CPCPCC permet aux provinces et aux territoires de concevoir des politiques et des programmes propres aux régions qui répondent aux objectifs de réduction des émissions et qui sont appuyés par du financement pour l'infrastructure et les technologies propres (Gouvernement du Canada, 2016). L'un des quatre piliers du CPCPCC est axé sur l'adaptation et la résilience climatique. Le pilier vise en partie à s'assurer que les collectivités et les infrastructures sont prêtes à faire face aux risques climatiques et aux phénomènes météorologiques extrêmes grâce à des mesures qui comprennent (Gouvernement du Canada, 2016) :

- Renforcer la résilience aux changements climatiques au moyen d'infrastructures en investissant dans des infrastructures qui renforcent la résilience et en établissant de nouveaux codes et normes pour la construction et la gestion des infrastructures traditionnelles et vertes.
- Réduire l'impact des catastrophes et des dangers liés au climat, comme les inondations et les feux de forêt, en investissant dans les infrastructures traditionnelles et naturelles.



Un certain nombre de programmes et d'initiatives ont été mis sur pied pour appuyer l'atteinte des objectifs d'atténuation et d'adaptation du Cadre pancanadien, y compris des mesures de collaboration entre les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, comme il est mentionné à la section 4.2.

Afin de faire progresser les objectifs du gouvernement fédéral en matière de changements climatiques, le Cabinet a approuvé la **Stratégie pour un gouvernement vert** dirigée par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada en 2016 et l'a mise à jour en 2020. Avec le soutien du Centre pour un gouvernement vert, l'initiative vise à prendre des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et accroître la résilience climatique dans tous les ministères fédéraux à l'appui des engagements pris en vertu de l'Accord de Paris et du Cadre pancanadien. Bien que cette stratégie soit principalement axée sur l'atténuation des changements climatiques, les politiques de résilience mises de l'avant comprennent les suivantes : exiger des plans de portefeuille de résilience aux changements climatiques; veiller à ce que tous les nouveaux bâtiments fédéraux, les infrastructures et les rénovations majeures d'immeubles mènent une évaluation des risques liés aux changements climatiques qui tient compte des scénarios climatiques actuels et futurs; utiliser des infrastructures naturelles et des solutions semblables fondées sur la nature pour protéger les biens matériels; et intégrer des considérations d'adaptation dans tous les aspects des grands projets immobiliers, comme l'utilisation de directives sur les bâtiments résilients aux changements climatiques élaborées par le Conseil national de recherches du Canada (gouvernement du Canada, 2021a).

Plus récemment, le gouvernement du Canada a présenté le **Plan pour un environnement sain et une économie saine**, qui s'appuie sur le Cadre pancanadien, et qui vise à atteindre ses objectifs d'économie à faibles émissions de carbone tout en créant des emplois et en rétablissant l'emploi aux niveaux pré-pandémiques. Un élément clé de cette stratégie consiste à investir dans la Banque de l'infrastructure du Canada pour appuyer la construction d'infrastructures propres. Ce plan, qui revêt une importance particulière, s'engage à élaborer une **stratégie nationale d'adaptation**, à appuyer le leadership autochtone en matière de climat et à promouvoir l'atténuation des changements climatiques et la résilience en appliquant l'optique des changements climatiques dans l'ensemble des processus décisionnels du gouvernement (ECCC, 2020).

Les efforts visant à accroître la résilience des infrastructures canadiennes aux changements climatiques sont également appuyés par d'autres politiques et stratégies axées sur le développement durable et l'environnement. Cela comprend la *Loi fédérale sur le développement durable* et les stratégies connexes. La *Loi fédérale sur le développement durable* (2008) fournit la structure juridique pour élaborer et mettre en œuvre la Stratégie fédérale de développement durable (SFDD) du Canada. L'objet de la Loi est « d'éviter que les questions de durabilité environnementale ne soient reléguées en marge du système de planification et de production de rapport du gouvernement fédéral » (ECCC, 2011b, p. 4). Conformément à la Loi, 26 organisations fédérales et 16 autres organisations ont le mandat d'élaborer des stratégies qui contribuent à la SFDD (Gouvernement du Canada, 2008). La SFDD, mise à jour tous



les trois ans, définit les priorités du gouvernement fédéral en matière d'environnement et de durabilité et prend des mesures pour rendre le processus décisionnel en matière d'environnement plus transparent, plus responsable et plus conforme aux objectifs. Depuis 2016, la SFDD a été modifiée pour être harmonisée avec le Programme 2030 des Nations Unies et les ODD.

Plusieurs plans ministériels de développement durable sont essentiels pour faire progresser la planification et la mise en œuvre de l'adaptation en ce qui concerne l'infrastructure partout au pays, notamment :

- Transports Canada coordonne l'Initiative d'adaptation des transports dans le Nord, une pierre angulaire de la SFDD, et le Plan de protection des océans, qui met en œuvre des projets visant à protéger les environnements côtiers et océaniques. L'initiative d'évaluation des risques liés aux biens de transport permet de cerner et de mettre en œuvre des solutions d'adaptation et de gestion des risques climatiques liés aux biens de transport fédéraux et à l'interne; des efforts sont déployés pour intégrer les considérations relatives aux changements climatiques et la planification de l'adaptation dans toutes les décisions concernant les actifs de transport fédéraux (Transports Canada, 2020).
- Sécurité publique Canada supervise la Stratégie de gestion des urgences pour le Canada. Cette stratégie s'aligne sur le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030), qui relie la réduction des risques de catastrophe et les efforts de développement durable à l'échelle mondiale. L'objectif de cette harmonisation est de renforcer la capacité d'adaptation et la résilience des collectivités face aux dangers climatiques extrêmes. L'un des éléments du renforcement de la résilience des collectivités consiste à donner la priorité aux principes de renforcement des capacités, comme la prise en compte des impacts climatiques futurs dans les infrastructures physiques nouvelles et existantes pendant la reconstruction après une catastrophe (Sécurité publique Canada, 2019).

Les efforts visant à accroître la résilience climatique des infrastructures du Canada sont également influencés par des cadres et des initiatives axés sur les infrastructures. Par exemple, le **Cadre stratégique pour l'Arctique et le Nord** est un cadre stratégique fédéral élaboré conjointement par les collectivités nordiques, les gouvernements autochtones et six gouvernements territoriaux et provinciaux. Plusieurs des priorités du cadre traitent directement des répercussions des changements climatiques sur les collectivités et de la nécessité d'investir dans l'infrastructure de l'énergie, des transports et des communications. Bien que ce cadre ne traite pas des types d'activités d'adaptation à prendre, il reconnaît la nécessité de s'attaquer aux répercussions des changements climatiques et l'importance de mettre à niveau et d'élargir l'infrastructure existante dans la région (Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, 2019).

En 2020, le gouvernement fédéral a annoncé son intention d'entreprendre la première **évaluation nationale de l'infrastructure du Canada** (Infrastructure Canada, 2020). En s'appuyant sur l'expérience de pays comme l'Australie, la Nouvelle-Zélande et le Royaume-Uni, l'évaluation nationale de l'infrastructure utilisera des données et des données probantes pour



déterminer les besoins à long terme du Canada en matière d'infrastructure et sa vision à long terme, renforcer les liens entre les propriétaires d'infrastructures et les bailleurs de fonds, et déterminer « les meilleures façons de financer les infrastructures » (Infrastructure Canada, 2021a, p. 6).

4.1.2 Initiatives fédérales de renforcement des connaissances et des capacités

Le gouvernement fédéral a lancé divers programmes conformément à l'objectif du Cadre stratégique sur l'adaptation, qui consiste à donner aux Canadiens l'accès à l'information et à la capacité dont ils ont besoin pour s'adapter, ainsi qu'à de nouveaux engagements dans le cadre du pilier Adaptation et résilience climatique du CPCPCC. Cela comprend l'établissement de la **Plateforme d'adaptation aux changements climatiques** du Canada en 2012 afin de promouvoir l'adaptation collaborative aux changements climatiques. La Plateforme réunit les gouvernements provinciaux et territoriaux, les groupes autochtones, la société civile, les universitaires et d'autres intervenants pour échanger des outils et de l'information. La collaboration prend la forme de groupes de travail et de collaborations régionales (RNCAN, 2018a). Le Groupe de travail sur l'infrastructure et les bâtiments de la Plateforme vise à renforcer la capacité des municipalités, des constructeurs, des assureurs, des ingénieurs et des gestionnaires d'infrastructure d'intégrer des facteurs d'adaptation à leurs travaux d'infrastructure (RNCAN, 2018b).

RNCAN dirige également le **processus national d'évaluation de l'adaptation** du Canada, préparant périodiquement des rapports qui résument la compréhension actuelle des risques climatiques et de l'adaptation. Par exemple, entre 2013 et 2016, RNCAN et Transports Canada ont collaboré à la production du rapport Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016 (Palko et Lemmen, 2017). L'évaluation nationale actuelle du risque climatique et des progrès en matière d'adaptation, « Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir », a commencé en 2016 et a publié une synthèse des changements climatiques passés et prévus au Canada en 2019 (RNCAN, 2019). Le Rapport sur les perspectives régionales des provinces des Prairies a été publié en 2020 (Sauchyn et coll., 2020). D'autres chapitres régionaux et un rapport sur les enjeux nationaux seront publiés en 2021.

Conformément à un engagement pris dans le cadre du CPCPCC, ECCC a lancé en 2018 le **Centre canadien des services climatiques** (CCSC). Il fournit aux Canadiens des renseignements faisant autorité et du soutien pour tenir compte des changements climatiques dans leur prise de décisions (Gouvernement du Canada, 2021b), et comprend une vaste gamme de renseignements, de produits et de services à l'intention des utilisateurs de tous les secteurs. Dans le cadre de ses travaux, le CCSC travaille avec des experts à l'élaboration d'un module ciblé sur [Donneesclimatiques.ca](https://donneesclimatiques.ca) sur les transports et les bâtiments, qui regroupera et organisera l'information (c.-à-d. les données sur le climat, les études de cas et plus) nécessaire pour appuyer les décisions dans ces domaines de travail. De même, le CCSC travaille avec RNCAN



à l'élaboration d'une base de données d'études de cas sur les mesures d'adaptation de tous les secteurs (y compris le transport et l'infrastructure) afin d'accroître les connaissances sur les mesures d'adaptation et leur adoption, qui seront accessibles sur [Changingclimate.ca](https://www.changingclimate.ca).

4.1.3 Politiques et initiatives internationales

À l'échelle internationale, les efforts visant à atténuer les répercussions des changements climatiques sont guidés par l'Accord de Paris (CCNUCC, 2015), le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (ONU, 2015) et le Cadre d'Action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (BNURRC, 2015). Les infrastructures résilientes jouent un rôle crucial dans la réalisation des objectifs de ces trois accords. Le Cadre d'action de Sendai adopté en 2015, par exemple, énonce sept cibles mondiales à atteindre d'ici 2030. La cible D, en particulier, concerne les infrastructures et appelle les pays à [traduction] « réduire substantiellement les dommages causés aux infrastructures essentielles et les perturbations des services de base, parmi lesquels les établissements de santé et d'éducation, notamment en développant leur résilience d'ici 2030 » (BNURRC, 2015, p. 12).⁵

Plusieurs autres organisations internationales ont publié des principes, des cadres et des programmes d'action qui peuvent éclairer les efforts du Canada pour améliorer la résilience de son infrastructure bâtie. Le document « **International Good Practice Principles for Sustainable Infrastructure** » (« Principes internationaux de bonnes pratiques pour les infrastructures durables ») du Programme des Nations Unies pour l'environnement, publiés en 2021, par exemple, fournissent des approches intégrées au niveau des systèmes pour les décideurs, y compris 10 principes directeurs que les décideurs peuvent suivre pour aider à intégrer la durabilité dans la planification et la réalisation des infrastructures (PNUE, 2021a). Le principe 2 préconise une [traduction] « prestation de services souple, résiliente et adaptée » et souligne l'importance de comprendre et de gérer la demande, d'assurer la souplesse et la résilience pour tenir compte des changements et des incertitudes au fil du temps, et d'assurer une planification au niveau des systèmes qui favorise les synergies pour améliorer la connectivité. Ces principes sont complétés par une deuxième publication, *Integrated Approaches in Action : A Companion to the International Good Practice Principles for Sustainable Infrastructure* (PNUE, 2021b). Grâce à ces publications, le PNUE vise à informer la [traduction] « prochaine vague d'investissements mondiaux dans les infrastructures » (PNUE, 2021b).

⁵ La mise en œuvre du Cadre d'action de Sendai ne s'est pas faite sans difficulté. Une évaluation de 2017 sur l'état de préparation de tous les pays participants à faire rapport sur les cibles du Cadre d'action de Sendai a montré que les données sur les dommages aux infrastructures sont souvent manquantes, ou ne tiennent compte que des événements de crise à grande échelle, ou sont calculées différemment par différents pays (BNURRC, 2020). Le BNURRC, l'agence qui soutient le Cadre d'action de Sendai, recommande que les gouvernements [traduction] « fassent davantage d'efforts pour établir des mécanismes appropriés pour la collecte de données détaillées conformément aux exigences de déclaration du Cadre d'action de Sendai afin qu'ils puissent prendre des décisions plus éclairées pour protéger leurs actifs essentiels » (BNURRC, 2020, p. 40).



L'OCDE a formulé des recommandations en 2014 sur **la gouvernance des risques critiques** (OCDE, 2014b). Ces recommandations énoncent notamment que les pays prennent les mesures suivantes :

- **Renforcer la préparation au moyen d'analyses prévisionnelles, d'évaluations des risques et de cadres de financement, afin de mieux prévoir les impacts complexes et de grande portée.** Cela comprend la détermination des dangers et des menaces critiques afin de les évaluer à l'aide des meilleures données probantes disponibles; la compréhension des risques en ce qui a trait à leur probabilité, à leur plausibilité et à leurs répercussions potentielles; et l'élaboration d'inventaires localisés des populations et des biens exposés; ainsi que des infrastructures qui réduisent l'exposition et la vulnérabilité.
- **Réduire les risques critiques grâce à une planification stratégique** visant à bâtir des collectivités plus sécuritaires et plus durables, en prêtant attention à la conception des réseaux d'infrastructures essentielles (p. ex. énergie, transport, télécommunications et systèmes d'information); options fiscales et réglementaires pour promouvoir la capacité des réserves; des systèmes de diversification ou de secours pour réduire le risque de pannes et de périodes prolongées de perturbation des systèmes d'infrastructures essentielles; et l'intégration des décisions de gestion des risques, ainsi que des normes de sécurité et de sûreté dans les réglementations nationales et locales relatives à l'utilisation des terres, les codes du bâtiment et la conception, le développement et l'exploitation des infrastructures essentielles.
- **Encourager les entreprises à prendre des mesures pour assurer la continuité des activités**, en mettant particulièrement l'accent sur les exploitants d'infrastructures essentielles.

De plus, le **Cadre de l'OCDE pour la gouvernance des infrastructures** publié en 2017 a souligné que [traduction] « les infrastructures publiques doivent être résilientes » (OCDE, 2017, p. 13). À l'appui de cette démarche, l'OCDE recommande que les pays accordent une attention particulière à quatre questions stratégiques clés. Fait important, la première question demande si des politiques sont en place pour veiller à ce que les infrastructures clés soient résilientes en cas de catastrophe, tandis que la deuxième question demande si les structures clés sont conçues pour supporter un choc prévisible, ou si des systèmes de remplacement ou redondants sont disponibles. Un deuxième ensemble de diagnostics est établi afin de déterminer si l'administration a la capacité de cerner les options, d'établir l'ordre de priorité des mesures et de communiquer les décisions aux personnes qui les mettront en œuvre, et si des outils sont en place pour tirer des leçons des événements passés.

Le partage des connaissances sur les infrastructures résilientes au climat est soutenu par la **Coalition for Disaster Resilient Infrastructure** (CDRI), une plateforme mondiale d'échange de connaissances représentant un partenariat entre les gouvernements nationaux, les agences et les programmes des Nations Unies, les banques multilatérales de développement et les mécanismes de financement, le secteur privé et les institutions du savoir (CDRI, 2021). Son objectif est de promouvoir le développement d'infrastructures résilientes aux risques climatiques



et aux catastrophes à l'appui du développement durable. Les priorités stratégiques du CDRI comprennent le soutien technique et le renforcement des capacités, la recherche et la gestion des connaissances, ainsi que la défense des intérêts et les partenariats.

Toujours au niveau mondial, en 2020, le Groupe de pays du G20 a présenté le **Programme d'action du G20 sur l'adaptation et les infrastructures résilientes** (G20, 2019). Le Programme d'action contient diverses mesures sur l'adaptation aux changements climatiques, la réduction des risques de catastrophe et la qualité et la résilience des infrastructures aux niveaux multilatéral, bilatéral, régional, national et local. Voici quelques-unes des mesures recommandées :

- Adopter une approche globale pour élaborer un processus de planification stratégique pour l'adaptation, la réduction des risques de catastrophe et le développement durable
- Accumuler et partager des connaissances, de l'information et des pratiques exemplaires pour la planification de l'adaptation
- Améliorer les environnements habitants et renforcer les capacités d'adaptation, de résilience et de réduction des risques de catastrophe
- Fournir un financement public, mobiliser le secteur privé et mobiliser les finances et les investissements privés
- Promouvoir des approches écosystémiques et des efforts accrus en matière d'adaptation et de prévention des catastrophes qui conviennent aux situations et aux conditions locales

En Europe, la CE a adopté sa nouvelle **stratégie pour l'adaptation au changement climatique** en 2021 (CE, 2021). La nouvelle stratégie souligne que l'investissement dans des infrastructures résilientes et à l'épreuve du climat est rentable à long terme avec des ratios coûts-avantages de 4:1, et, en reconnaissance de cela, la CE a élaboré des directives exhaustives sur la protection contre les changements climatiques pour les nouvelles infrastructures majeures. La stratégie indique également que les solutions fondées sur la nature doivent jouer un plus grand rôle dans la gestion de l'utilisation des terres et la planification des infrastructures afin de réduire les coûts et d'offrir des services résilients au climat. L'encadré 2 présente l'analyse du risque climatique pour l'infrastructure européenne qui éclaire les efforts de la CE en matière de résilience climatique.

Au Royaume-Uni, la National Infrastructure Commission (NIC) a publié en 2020 un rapport sur les systèmes d'infrastructure résilients axé sur l'établissement d'un cadre de résilience qui comprend six aspects clés – anticiper, résister, absorber, récupérer, s'adapter et transformer (UK-NIC, 2020). Le cadre de résilience du NIC pour les infrastructures demande au gouvernement et aux secteurs de l'énergie, de l'eau, du numérique, des routes et des chemins de fer du Royaume-Uni de mieux anticiper les contraintes et les chocs futurs; d'améliorer les mesures pour résister aux chocs et aux contraintes, de les absorber et de s'en remettre en testant les vulnérabilités et en y remédiant; de valoriser correctement la résilience; et de favoriser l'adaptation avant qu'il ne soit trop tard (UK-NIC, 2020). En outre, il a été noté qu'une grande partie de ce qui est nécessaire est déjà en place au Royaume-Uni, mais que des améliorations sont encore nécessaires, notamment :



- Le gouvernement devrait publier un ensemble complet de **normes de résilience** tous les cinq ans, suivant les conseils des organismes de réglementation, ainsi qu'une évaluation des changements nécessaires pour les mettre en œuvre.
- Les exploitants d'infrastructures devraient **effectuer des tests de stress réguliers et proportionnels**, supervisés par les organismes de réglementation, afin de s'assurer que leurs systèmes et services peuvent répondre aux normes de résilience du gouvernement, et prendre des mesures pour remédier à toute vulnérabilité.
- Les exploitants d'infrastructures devraient élaborer et maintenir des **stratégies de résilience à long terme**, et les organismes de réglementation devraient veiller à ce que leurs décisions dans les futurs examens des prix soient conformes aux normes de résilience à court et à long terme.

Encadré 2. Résilience des grands investissements et des infrastructures essentielles en Europe face au changement climatique

En 2016, le Centre commun de recherche de la CE a étudié la résilience aux changements climatiques des investissements importants et des infrastructures essentielles en Europe (CE, 2016). L'étude approfondie a révélé que l'énergie, les transports et l'infrastructure industrielle sont vulnérables à divers dangers liés aux changements climatiques, notamment la chaleur, le froid, la sécheresse, les feux de forêt, les inondations et les tempêtes de vent.

L'étude a sonné l'alarme sur le fait que les dommages causés par les phénomènes climatiques extrêmes, [traduction] « qui à l'heure actuelle s'élèvent à 3,4 milliards d'euros par an, pourraient tripler dans les années 2020, se multiplier par six au milieu du siècle et représenter plus de 10 fois les dommages actuels d'ici la fin du siècle » (CE, 2016, p. 3). La principale cause a été décrite comme une diminution marquée des périodes de retour de multiples phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. une vague de chaleur qui se produit normalement une fois tous les 100 ans, ou une inondation qui se produit normalement tous les 20 ans, qui peut se produire tous les uns ou deux ans dans des conditions climatiques futures).

Grâce à ces données probantes, la CE envoie [traduction] « un important signal aux propriétaires et exploitants d'entreprises d'infrastructure que les normes et pratiques actuelles de conception, de construction, d'exploitation et d'entretien devraient être modifiées dans ces secteurs » (CE, 2016, p. 4).

4.2 Pratiques, guides, normes et codes

Bien que les politiques, les cadres, les stratégies et les plans établissent l'orientation des efforts visant à réduire l'impact des changements climatiques sur les infrastructures, la disponibilité de divers guides, normes et codes aide à mettre ces engagements en pratique. Cette section



fournit de l'information sur l'éventail des efforts déployés à l'échelle fédérale pour élaborer et rendre disponibles des directives, des outils, des normes et des codes afin d'accroître la résilience climatique de l'infrastructure canadienne. Elle indique également certaines des initiatives internationales qui éclairent ces efforts.

4.2.1 Développements au niveau fédéral

Au cours des années qui ont suivi la publication du Cadre pancanadien, il y a eu une intensification de l'élaboration de lignes directrices, de pratiques, de normes et de codes pour appuyer l'adaptation aux changements climatiques et la résilience de l'infrastructure canadienne. Les paragraphes qui suivent donnent un aperçu de certains des principaux développements à l'échelon fédéral au Canada.

Les lignes directrices générales de l'Optique des changements climatiques sont une exigence horizontale applicable dans le cadre du Programme d'infrastructure Investir dans le Canada, du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophe (FAAC) et du Défi des villes intelligentes d'Infrastructure Canada (Gouvernement du Canada, 2019c). Il comprend une évaluation de la résilience aux changements climatiques qui fait appel à une approche de gestion des risques (c.-à-d. ISO 31000, Protocole du CVIIP ou une approche similaire) visant à prévoir et à prévenir les perturbations ou les incidences liées aux changements climatiques, à y résister, à s'y adapter et à s'en rétablir. Dans le cadre du PIIC, une évaluation de la résilience aux changements climatiques est requise pour les projets présentant une demande de financement dont le coût est de 10 millions de dollars canadiens ou plus et pour tous les projets du sous-volet Infrastructure verte – Adaptation, résilience et atténuation des catastrophes. Il s'agit également d'une exigence pour tout niveau de financement dans le cadre du programme national du FAAC et pour les projets axés principalement sur l'adaptation ou l'atténuation des changements climatiques et des coûts de 10 millions de dollars canadiens ou plus dans le cadre du volet des gagnants du Défi des villes intelligentes. À ce jour, les évaluations effectuées dans le cadre des lignes directrices de l'Optique des changements climatiques (pour la résilience et/ou l'atténuation) ont été appliquées à 85 % du financement fédéral total du PIIC (Infrastructure Canada, communication personnelle, 2021).

Dirigée par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et financée par Infrastructure Canada, l'**Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques** de base (IRCCIPB) élabore des outils d'aide à la décision fondés sur des données scientifiques, des codes, des normes et des lignes directrices pour renforcer la capacité des industries de la construction du Canada à s'adapter aux exigences croissantes de l'infrastructure bâtie attribuées aux changements climatiques (CNRC et Infrastructure Canada, 2020). Infrastructure Canada appuie également l'adoption de l'infrastructure naturelle par l'entremise de l'IRCCIPB, y compris les travaux sur les infrastructures liées aux inondations et à l'eau et aux eaux usées. La figure 4 donne un aperçu de l'IRCCIPB, y compris de ses avantages escomptés.

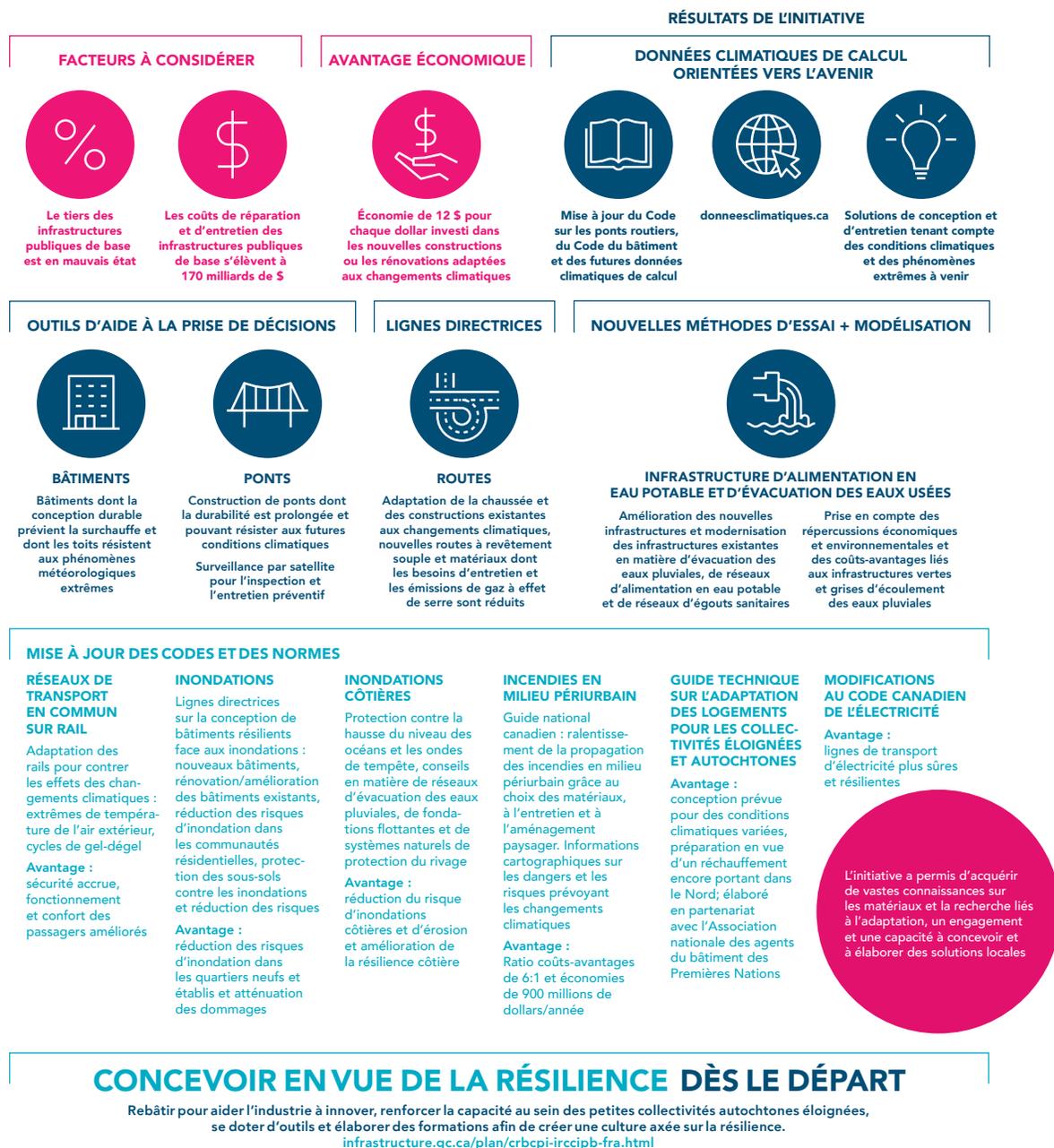


Figure 4. IRCCIPB du gouvernement du Canada

Dans le cadre de l'Initiative sur les bâtiments et les infrastructures publiques de base résilients aux changements climatiques du **CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA**, financée par Infrastructure Canada, des outils fondés sur la science, ainsi que des codes, normes et lignes directrices ont été élaborés afin que les bâtiments et infrastructures publiques soient conçus et construits de manière à résister aux effets des changements climatiques.

OBJECTIFS DE L'INITIATIVE SUR LES BÂTIMENTS ET LES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES DE BASE RÉSILIENTS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES :

- Assurer la santé et la sécurité des Canadiennes et des Canadiens
- Réduire les coûts liés à la construction, à l'exploitation et à l'entretien des bâtiments et des infrastructures publiques de base
- Maintenir et améliorer la résilience des infrastructures existantes et futures
- Préparer l'avenir en prolongeant la durée de vie des bâtiments et infrastructures publiques de base



Source : CNRC, la communication personnelle, le juin 2021.



En 2016, le CCN s'est lancé dans un programme quinquennal de 11,7 millions de dollars canadiens intitulé **Des normes pour la résilience climatique des infrastructures** (SCC, 2020). Le programme est axé sur quatre domaines clés :

1. Outiller les organismes d'élaboration de normes pour lutter contre les changements climatiques. Il a mis sur pied le Groupe de travail des organismes d'élaboration de normes pour la résilience climatique des infrastructures, qui voit au renforcement des capacités des rédacteurs de normes, et qui prépare des documents d'orientation, comme le guide sur l'adaptation des normes canadiennes aux changements climatiques et le document « Interpréter les modèles climatiques pour éclairer les normes ». Il appuie également le Secrétariat des Lignes directrices pour la prise en compte des changements climatiques dans les normes ISO 84:2020 (ISO, 2020).
2. Exploiter pleinement les données météorologiques et climatiques en fournissant des directives de normalisation pour les données météorologiques, l'information climatique et les projections sur les changements climatiques (Ouranos, 2017) afin que ces données puissent être mieux intégrées dans la conception d'une infrastructure résiliente au climat. Ce domaine appuie également l'élaboration d'une série de normes visant à améliorer l'accès aux données météorologiques et climatiques locales et régionales pour les concepteurs, les planificateurs, les propriétaires et les exploitants d'infrastructures afin d'assurer leur résilience aux impacts des changements climatiques. On a également entrepris une mise à jour des directives techniques pour les courbes d'intensité, de durée et de fréquence des précipitations tenant compte des changements climatiques, qui sont utilisées pour concevoir des systèmes de drainage des eaux pluviales et qui sont traditionnellement fondées sur des données climatiques historiques.
3. Aider les collectivités nordiques à s'adapter à l'évolution rapide du climat. Reconnaissant que le climat du Nord devrait se réchauffer trois fois plus vite que celui de la planète, l'Initiative de normalisation des infrastructures du Nord du CCN (ININ-CCN, 2020) offre des vidéos de formation et une série de normes tenant compte des changements climatiques pour aider à : (i) assurer des systèmes de drainage appropriés (Groupe CSA, 2019d); (ii) tenir compte de l'évolution des charges de neige sur les toits (Groupe CSA, 2019c); (iii) améliorer les fondations des thermosiphons (Groupe CSA, 2019a); (iv) gérer les effets de la dégradation du pergélisol sur les bâtiments existants (Groupe CSA, 2019b); et (v) appuyer les études géotechniques de sites pour la construction de fondations dans le pergélisol (BNQ, 2017). Mise à jour de la norme CSA 4011 Infrastructure in Permafrost : A Guideline for Climate Change Adaptation a également été élaborée dans le cadre du programme (Groupe CSA, 2019e).
4. Concevoir des infrastructures résistantes aux phénomènes météorologiques extrêmes. Le programme Des normes pour la résilience climatique des infrastructures élabore des lignes directrices et des pratiques exemplaires pour réduire les répercussions des inondations sur les collectivités Centre Intact d'adaptation au climat, 2019; CCN, 2018a), préparant les collectivités à faire face à l'augmentation des feux de forêt (CCN, 2018b) et atténuant les répercussions des vents violents sur les bâtiments et les infrastructures partout au Canada (IPSC, 2019).



Pour améliorer l'accès aux lignes directrices sur les codes et les normes, le CCSC a créé un **dépôt central de codes et de normes de résilience climatique**, en partenariat avec le CCN, le CNRC, Infrastructure Canada et le Groupe CSA. Cette collection de normes et de codes sur la résilience aux changements climatiques regroupe plus de 40 documents pertinents qui peuvent être consultés sur un site Web distinct; ils sont également disponibles à la Bibliothèque des ressources climatiques (CCSC, 2021).

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un programme fédéral, Ingénieurs Canada a créé le CVIIP en 2005 pour effectuer une évaluation technique de la vulnérabilité des infrastructures publiques du Canada aux effets des changements climatiques. Le **protocole du CVIIP** est un cadre et un processus d'évaluation pour l'examen des données climatiques historiques et la projection de la nature, de la gravité et de la probabilité des changements et événements climatiques futurs, ainsi que pour établir la capacité d'adaptation d'une infrastructure individuelle déterminée par sa conception, son exploitation et sa maintenance (IPSC et CRI, 2021). Plus de 70 évaluations des risques liés à l'infrastructure du CVIIP ont été réalisées au Canada de 2008 à 2020 (IPSC et CRI, 2021). Le protocole du CVIIP a été appliqué pour évaluer les risques et les vulnérabilités liés au climat dans un large éventail de systèmes d'infrastructure au Canada, y compris les bâtiments (résidentiels, commerciaux et institutionnels), les réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées, les routes et les structures connexes (p. ex. ponts et ponceaux), les systèmes d'approvisionnement et de gestion de l'eau, la distribution d'électricité et l'infrastructure aéroportuaire. En mars 2020, la propriété et le contrôle du programme du CVIIP ont été transférés à un partenariat composé de l'IPSC, du CRI, et de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (IPSC et CRI, 2021).

Le CCME a récemment publié une autre ressource, **Orientation sur les pratiques exemplaires en matière d'évaluation des risques liés aux changements climatiques**. Destiné à éclairer la conception des processus qui répondent le mieux aux besoins de l'utilisateur, le guide fournit des renseignements fondamentaux sur l'évaluation des risques climatiques, les questions à poser avant d'entreprendre une évaluation et un aperçu des six cadres établis, y compris le protocole du CVIIP (CCME, 2021).

Comme les impacts et les risques climatiques sont locaux, les mesures de résilience doivent aussi être locales. Infrastructure Canada collabore avec la FCM dans le cadre de divers programmes visant à renforcer les capacités communautaires en matière de planification de l'adaptation et de gestion des actifs. Le programme quinquennal de 75 millions de dollars canadiens **Municipalités pour l'innovation climatique**, mis en œuvre par la FCM et financé par le gouvernement du Canada, fait progresser trois grands thèmes, à savoir la réduction des gaz à effet de serre, l'adaptation aux changements climatiques et la gestion du climat et des actifs (FCM, 2021). Sous le thème du climat et de la gestion des actifs, la FCM offre de la formation et des ressources aux gouvernements municipaux pour intégrer les considérations climatiques dans les pratiques de gestion des actifs.



4.2.2 Lignes directrices, pratiques, normes et codes internationaux

Les Canadiens peuvent se tourner vers un certain nombre de normes internationales lorsqu'ils cherchent à accroître la résilience climatique de leur infrastructure bâtie. En particulier, trois normes ISO fournissent des directives directement liées à l'adaptation aux changements climatiques, soit les normes 14090, 14091 et 14092 :

- La **norme ISO 14090:2019 – Adaptation aux changements climatiques – Principes, exigences et lignes directrices** fournit des conseils sur la façon d'intégrer l'adaptation aux processus de planification, de conception, de mise en œuvre et de prise de décisions des projets (ISO, 2019). Cet ensemble de normes peut éclairer un large éventail de programmes, de projets et de politiques, ainsi que des instruments réglementaires comme les évaluations de la résilience dans le cadre des lignes directrices de l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada.
- La **norme ISO 14091:2021 – Adaptation aux changements climatiques – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques** fournit des conseils pour comprendre la vulnérabilité et élaborer des évaluations des risques tenant compte des risques actuels et futurs liés aux changements climatiques (ISO, 2021).
- La **norme ISO 14092:2020 – Adaptation aux changements climatiques – Exigences et recommandations relatives à la planification de l'adaptation pour les autorités locales et les communautés** s'adresse aux gouvernements locaux et aux collectivités pour soutenir l'adaptation aux changements climatiques en fonction de la vulnérabilité, des impacts et des évaluations des risques, et fournit des conseils pour élaborer et mettre à jour un plan d'adaptation (ISO, 2020a).

Un certain nombre de lignes directrices préparées par d'autres pays peuvent également éclairer les efforts déployés au Canada pour construire et maintenir des infrastructures résilientes aux changements climatiques. Le document **Designing for Infrastructure Resilience** du Royaume-Uni, par exemple, est un document d'orientation complet qui fournit des cadres, des outils et des pratiques exemplaires pour améliorer la résilience des infrastructures (Department for International Development, 2016). Le document met l'accent sur deux principes clés qui forment la base du cadre proposé, soit (i) tenir compte des répercussions des catastrophes par des approches techniques de conception axées sur des solutions et (ii) intégrer la modélisation climatique dans les évaluations des risques liés aux infrastructures. Voici les principales pratiques exemplaires décrites :

- Investir dans le renforcement de la résilience des infrastructures avant tout événement climatique en particulier
- S'assurer que l'infrastructure peut maintenir un niveau de service acceptable même directement après un événement climatique afin de réduire les perturbations dans les collectivités



- Investir dans le renforcement des capacités et des compétences pour veiller à ce que les codes, les protocoles et les lignes directrices soient correctement interprétés et mis en œuvre

Le *Pan-European Framework for Strengthening Critical Infrastructure Resilience to Climate Change* (cadre paneuropéen pour le renforcement de la résilience des infrastructures essentielles aux changements climatiques) présente les principaux résultats de la recherche et des études de cas, et propose des recommandations aux communautés (EU-CIRCLE, 2020). Son principal message est que la résilience peut être obtenue par la collaboration multidisciplinaire des intervenants aux niveaux national et local, ainsi que par la collaboration avec le milieu universitaire et le secteur privé. L'EU-CIRCLE présente un cadre de gestion des risques et de la résilience. Pour cerner les risques, le cadre propose une évaluation des risques climatiques, l'élaboration d'indicateurs de résilience et la détermination d'options d'adaptation. Pour gérer la résilience, il offre un modèle à quatre niveaux. Les niveaux comprennent la détermination des dangers climatiques qui causent des impacts et s'ils sont exacerbés par les changements climatiques; la description du contexte de l'infrastructure et son lien avec d'autres systèmes d'infrastructure; l'évaluation de la capacité d'adaptation actuelle de l'infrastructure; et la détermination des paramètres ou des propriétés de résilience qui indiquent leurs capacités. Ce cadre permet aux intervenants d'évaluer les risques liés aux changements climatiques, de déterminer comment les changements climatiques peuvent modifier les risques futurs liés au climat et de déterminer les options d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques.

Le rapport de l'OCDE intitulé *Climate-Resilient Infrastructure* fournit des orientations stratégiques pour renforcer la résilience des infrastructures par des mesures d'adaptation structurelles et de gestion et par la mobilisation de financements privés et publics (OCDE, 2018a). Le document fournit des exemples internationaux de pratiques exemplaires pour les codes et les normes techniques, les mécanismes de réglementation et les politiques nationales. Des orientations sont également données sur le renforcement du financement des infrastructures résilientes au climat. Compte tenu du déficit de financement existant pour les projets d'infrastructure traditionnels, l'OCDE reconnaît la difficulté de financer des projets résilients au climat, en partie en raison de la difficulté de déterminer leurs économies de coûts au fil du temps. Le rapport suggère plusieurs mécanismes pour assurer l'intégration de la résilience dans les projets d'infrastructure, y compris l'utilisation de politiques de passation de marchés pour assurer la résilience des infrastructures financées par le secteur public, une transparence accrue pour les investisseurs privés grâce à des mesures et des rapports, et l'amélioration de la séquence des projets interreliés. Le document comprend également un recueil d'outils, de documents d'orientation stratégique et de plateformes en ligne à l'intention des praticiens et des décideurs pour approfondir des sujets précis.

En 2020, la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement a examiné les **politiques, les approches réglementaires, les rapports et les documents d'orientation pour l'adaptation du secteur du transport côtier** (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, 2020). Le rapport donne un bref aperçu des répercussions des



changements climatiques sur le transport côtier et propose des approches pour les évaluations des risques et les mesures d'adaptation. Les messages clés comprennent la nécessité d'appuyer les stratégies d'adaptation par des cadres juridiques et réglementaires solides qui aident à réduire la vulnérabilité aux risques liés au climat; que les outils réglementaires fournissent également des incitations économiques pour financer les efforts d'adaptation, promouvoir l'innovation technologique, et contribuer aux données et aux outils; et enfin, que les approches juridiques et réglementaires ne limitent pas les options d'adaptation futures pour un projet particulier. Les exemples internationaux, nationaux et régionaux de conventions et de lois décrivent le rôle que les politiques peuvent jouer dans la création d'un environnement favorable à l'intégration des mesures d'adaptation au climat dans la conception et la gestion des projets d'infrastructure.

Le **Système d'évaluation de la résilience** (SER) de la Banque mondiale suggère une méthode pour suivre les financements liés au climat et améliorer le développement aligné sur le climat (Groupe de la Banque mondiale, 2021). Plus précisément, le SER fournit des critères d'évaluation et de déclaration pour suivre la résilience, ce qui améliorera également la transparence, créera des incitatifs financiers et aidera à déterminer les pratiques exemplaires tout en offrant des conseils sur la façon d'intégrer des mesures de réduction des risques dans la conception des projets. Le système d'évaluation examine les projets de deux façons distinctes, soit la résilience de la conception du projet (p. ex. la résilience des actifs ou des extrants en cours d'élaboration) et la résilience tout au long du projet (p. ex. le résultat du projet améliore-t-il la résilience aux changements climatiques). Le système d'évaluation se veut un complément aux méthodologies et cadres existants utilisés par les concepteurs de projet pour intégrer la résilience dans leurs conceptions de projet. Le SER peut être utilisé pour déterminer l'efficacité des méthodologies utilisées pour améliorer la résilience. En fait, le rapport donne une évaluation pour les méthodologies couramment utilisées selon le secteur.

Certaines normes et directives à l'échelle de l'industrie éclairent également les efforts actuels visant à renforcer la résilience climatique de l'infrastructure bâtie. La **Norme pour avoir des infrastructures durables et résilientes** (SuRe), élaborée par la Global Infrastructure Basel Foundation et la banque d'investissement Natixis, vise à favoriser l'intégration des aspects de durabilité et de résilience dans le développement des infrastructures (Global Infrastructure Basel Foundation, 2018). La norme vise à aider les promoteurs de projets, le secteur public et les financiers à réaliser des projets qui atteignent des niveaux de rendement supérieurs aux normes de l'industrie. SuRe s'applique à toute une gamme de projets d'infrastructure à chaque phase de développement. Toutefois, on encourage la mise en œuvre de la norme aux premières étapes de la planification afin d'en tirer le plus de valeur possible. De plus, la mise en œuvre de SuRe vise à contribuer et à faire progresser les ODD, en particulier l'objectif 9, « Industrie, innovation et infrastructure », et l'objectif 11, « Villes et collectivités durables » (Global Infrastructure Basel Foundation, 2018).

Le **Envision Sustainable Infrastructure Framework** a été publié pour la première fois en 2012 et a été élaboré par l'Institute for Sustainable Infrastructure (ISI), un organisme sans but lucratif d'éducation et de recherche fondé par l'American Public Works Association, l'American



Council of Engineering Companies, et l'ASCE (ISI, s.d.). Envision a été créé pour fournir un [traduction] « cadre cohérent et consensuel d'évaluation de la durabilité, de la résilience et de l'équité dans l'infrastructure civile » (ISI, s.d.). Plus précisément, le cadre établit la norme de ce qui constitue une infrastructure durable; il encourage des objectifs de rendement plus élevés que les exigences minimales; il reconnaît les projets qui contribuent de façon importante à la durabilité; et offre un langage commun pour la collaboration et la communication claire.

4.3 Financement d'infrastructures résilientes au climat

Un financement important est nécessaire pour combler le déficit actuel du Canada en matière d'infrastructure, qui, en 2016, était estimé entre 150 et 1 billion de dollars canadiens (CCCE, 2016). Comblant cette lacune tout en faisant des investissements supplémentaires pour améliorer la résilience des infrastructures aux changements climatiques représente un défi de taille. Toutefois, ces investissements devraient procurer des avantages nets à long terme. Comme la CMA l'a conclu en 2019, [traduction] « s'adapter maintenant est dans notre grand intérêt économique » (CMA, 2019, p. 3). La Commission a mentionné que les avantages nets liés à la résilience des nouvelles infrastructures seraient de l'ordre de 4 billions de dollars canadiens à l'échelle mondiale, les ratios avantages-coûts variant de 2:1 à 10:1 (CMA, 2019). Compte tenu de l'importance du financement pour permettre la construction et la remise en état d'infrastructures plus résilientes au climat, cette section donne un aperçu des programmes et des mécanismes de financement des infrastructures au Canada et à l'échelle internationale.

4.3.1 Mesures fédérales

Le gouvernement fédéral a établi des **programmes de financement des infrastructures publiques à frais partagés** qui intègrent l'adaptation et la résilience aux changements climatiques. Certains de ces programmes, décrits brièvement au tableau 8, sont propres à l'adaptation et sont conçus pour aider le gouvernement à respecter son engagement d'investir dans les infrastructures résilientes énoncées dans le Cadre pancanadien. Infrastructure Canada reconnaît également la valeur des solutions fondées sur la nature et appuie l'utilisation locale de l'infrastructure naturelle grâce à un certain nombre d'initiatives comme le FAAC et le volet vert du PIIC.

D'autres programmes de financement appuyés par le gouvernement du Canada ne sont pas conçus spécifiquement pour s'adapter aux infrastructures bâties et naturelles, mais peuvent entraîner des investissements qui favorisent la résilience des infrastructures. Le tableau 9 présente des exemples de ces programmes du gouvernement fédéral.



Tableau 8. Exemples de programmes de financement fédéraux qui appuient les infrastructures résilientes aux changements climatiques

Mécanisme de financement	But	Description	Exemples de mesures d'adaptation
FAAC¹	Appuyer les investissements visant à rendre les infrastructures publiques plus résilientes aux effets des changements climatiques.	Programme national fondé sur le mérite de 2 milliards de dollars canadiens qui finance des projets d'infrastructure bâtie et naturelle à grande échelle (au moins 20 millions de dollars canadiens en dépenses admissibles) qui accroîtront la résilience des collectivités aux catastrophes naturelles et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Les bénéficiaires admissibles au programme de partage des coûts comprennent les provinces et les territoires, les municipalités et les administrations régionales, les groupes autochtones, les organismes du secteur public, les établissements postsecondaires et les organismes sans but lucratif et à but lucratif.	Gestion des inondations et protection contre celles-ci, remise en état des rives et réduction des risques de feux de forêt.
PIIC^{2,3}	Aider les collectivités à réduire la pollution de l'air et de l'eau, à fournir de l'eau propre, à accroître leur résilience aux changements climatiques et à créer une économie axée sur la croissance propre, à bâtir des collectivités fortes et à assurer l'accès à des services modernes et fiables.	Une initiative de partage des coûts de 33 milliards de dollars canadiens pour appuyer les investissements dans les infrastructures. Le financement est attribué par la population et exécuté au moyen d'ententes bilatérales entre Infrastructure Canada et chacune des provinces et chacun des territoires. Le programme peut financer des projets d'adaptation en deçà du seuil de 20 millions de dollars canadiens du FAAC dans le cadre du volet Infrastructures vertes. Le sous-volet de l'adaptation, de la résilience et de l'atténuation des catastrophes appuie les projets d'infrastructure qui accroissent la capacité structurelle ou naturelle de s'adapter aux répercussions des changements climatiques, aux catastrophes naturelles ou aux phénomènes météorologiques extrêmes.	Les infrastructures bâties comme les digues, la gestion des eaux pluviales et les routes d'hiver, ainsi que les infrastructures naturelles comme les terres humides et la remise en état des rives.



Mécanisme de financement	But	Description	Exemples de mesures d'adaptation
Volet Résilience à la COVID-19 du PIIC⁴	Offrir plus de souplesse pour financer des projets à court terme à démarrage rapide.	Un volet temporaire de plus de 3 milliards de dollars canadiens pour appuyer des projets d'infrastructure à démarrage rapide, y compris des projets d'atténuation des catastrophes et d'adaptation. Le programme fondé sur les demandes est exécuté au moyen d'ententes bilatérales avec les provinces et les territoires, et les projets doivent être terminés d'ici la fin de 2021 ou la fin de 2022 dans les territoires et les collectivités éloignées.	Infrastructure naturelle, atténuation des inondations et des incendies, plantation d'arbres et infrastructure connexe.
Programme de l'Initiative d'adaptation des transports dans le Nord⁵	Aborder les effets des changements climatiques sur les réseaux de transport du Nord.	Le programme comprend un volet de subventions et de contributions pour aider le Yukon, les Territoires du Nord-Ouest, le Nunavut et les collectivités du Nunavik et du Nunatsiavut à relever les défis des changements climatiques. Jusqu'à 50 000 \$CAN peuvent être fournis pour un projet qui développe de nouvelles connaissances sur la façon dont les changements climatiques affectent les réseaux de transport dans le Nord; élabore des outils et des pratiques pour réagir à ces effets; ou offre de l'éducation et de la formation aux résidents du Nord pour les aider à gérer les réseaux de transport touchés par les changements climatiques.	Génération de nouvelles connaissances sur la façon dont les réseaux de transport sont touchés par les changements climatiques, comme le dégel du pergélisol et les conditions changeantes de la glace et de l'eau.
Programme de l'évaluation des risques liés aux ressources de transport⁶	Pour rendre les réseaux de transport plus forts et plus résilients.	Jusqu'à 50 000 \$CAN par projet sous forme de subvention et 1,6 million \$CAN par projet sous forme de contribution pour évaluer les répercussions des changements climatiques sur les actifs de transport appartenant au gouvernement fédéral ou gérés par celui-ci et déterminer les solutions d'adaptation qui pourraient être utilisées.	Les ressources de transport et les éléments d'infrastructure comme les ponts, les ports et les aéroports.

Sources : ¹Gouvernement du Canada, 2020b; ²Gouvernement du Canada, 2020f; ³Infrastructure Canada, 2021b; ⁴Gouvernement du Canada, 2020g; ⁵Transports Canada, 2021a; ⁶Transports Canada, 2021b.



Tableau 9. Exemples de mécanismes de financement du gouvernement du Canada qui peuvent soutenir des infrastructures résilientes aux changements climatiques

Mécanisme de financement	But	Description	Mesures d'adaptation
Banque de l'infrastructure du Canada (BIC) ^{1,2}	Investir et attirer des investissements du secteur privé et des investisseurs institutionnels dans des projets d'infrastructure.	La BIC est une société d'État lancée en 2017 qui investira 35 milliards de dollars canadiens du gouvernement fédéral dans des projets d'infrastructure verte qui ont un potentiel de génération de revenus et qui sont dans l'intérêt public.	L'un des 13 projets approuvés en date du 1er mars 2021 porte sur l'adaptation. Le projet d'irrigation en Alberta aide à réduire les impacts climatiques tout en augmentant la production végétale et en améliorant la capacité de stockage de l'eau.
État de préparation aux changements climatiques dans le Nord ³	Appuyer les collectivités et les organisations du Nord pour les aider à s'adapter aux répercussions des changements climatiques.	Le programme finance divers projets, y compris l'évaluation de la vulnérabilité et des risques des impacts du changement climatique, les cartes des dangers et les plans d'adaptation, la détermination des options d'adaptation et la mise en œuvre de mesures d'adaptation non structurelles et structurelles.	Le programme appuie la mise en œuvre de mesures d'adaptation structurelles pour les infrastructures à risque. Parmi les exemples de projets, mentionnons la détermination des répercussions des considérations relatives au pergélisol sur les routes et les édifices gouvernementaux.
Adaptation aux changements climatiques des Premières Nations ⁴	Améliorer la résilience des Premières Nations aux changements climatiques en améliorant la connaissance des problèmes auxquels elles font face afin qu'elles puissent mieux planifier pour l'avenir.	Le plan Investir dans le Canada comprend des programmes fédéraux d'adaptation fondés sur le mérite qui renforcent la capacité des Premières Nations au sud du 60e parallèle à faire face aux répercussions des changements climatiques.	Comprend le soutien pour évaluer les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures et y réagir, y compris l'évaluation des systèmes de drainage communautaires, l'intégration des changements climatiques dans les plans d'infrastructure communautaires, les études de déviation des routes d'hiver et la cartographie des inondations pour évaluer les risques pour les infrastructures.



Mécanisme de financement	But	Description	Mesures d'adaptation
Fonds pour le développement des collectivités du Canada (anciennement le Fonds de la taxe sur l'essence)^{5,6,7}	Fournir un financement à long terme à l'appui des infrastructures municipales.	Le fonds fédéral transfère aux provinces, aux territoires et aux collectivités autochtones une partie des revenus tirés de la taxe d'accise fédérale sur l'essence et le diesel par habitant. Le Fonds fournit plus de 2 milliards de dollars canadiens par année pour appuyer les priorités locales en matière d'infrastructure, y compris les infrastructures qui réduisent ou éliminent les répercussions et les risques à long terme associés aux catastrophes naturelles, et 2,2 milliards de dollars supplémentaires ont été ajoutés en 2021 dans le cadre des efforts d'intervention et de rétablissement à l'égard de la COVID-19.	Certaines provinces exigent que l'adaptation aux changements climatiques soit intégrée aux plans élaborés pour accéder aux fonds. L'Ontario, par exemple, exige que les vulnérabilités des infrastructures causées par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation soient évaluées, et la Nouvelle-Écosse exige l'élaboration de plans d'action municipaux sur les changements climatiques.
Programme Municipalités pour l'innovation climatique⁸	Bâtir des collectivités durables et fiables en élaborant des réponses aux changements climatiques.	Le gouvernement fédéral a versé 75 millions de dollars canadiens en subventions pour le programme quinquennal administré par la FCM. Le programme appuie l'adaptation aux changements climatiques, la réduction des gaz à effet de serre et la gestion du climat et des actifs.	Les initiatives d'adaptation comprennent l'évaluation des risques d'inondation, l'analyse des infrastructures vertes pour aider à gérer les risques d'inondation et de chaleur extrême, et l'élaboration de stratégies d'adaptation pour les infrastructures énergétiques.
Programme national d'atténuation des catastrophes⁹	Investir dans des projets provinciaux et territoriaux d'atténuation des inondations.	Administré par Sécurité publique Canada, le programme compte quatre volets de financement qui appuient l'évaluation des risques, la cartographie des inondations, les plans d'atténuation des risques d'inondation et les investissements dans des projets non structuraux et structuraux à petite échelle pour contrer les risques d'inondation. Le programme a été renouvelé en 2020 avec un montant de 25 millions de dollars canadiens pour deux ans.	Les investissements dans des projets non structuraux et structuraux à petite échelle pour contrer les risques d'inondation comprennent la construction de canaux de dérivation et de digues.



Mécanisme de financement	But	Description	Mesures d'adaptation
Programme Renforcer la capacité et l'expertise régionale en matière d'adaptation (RCERA)¹⁰	Accroître la capacité des collectivités, des organisations, des petites et moyennes entreprises et des praticiens d'accéder aux connaissances et aux outils d'adaptation aux changements climatiques, de les utiliser et de les appliquer.	Le programme RCERA est une initiative quinquennale (2017-2022) de 18 millions de dollars dans le cadre du pilier Adaptation et résilience climatique du Cadre pancanadien.	Le programme appuie les projets régionaux qui répondent aux besoins et aux priorités uniques en matière d'adaptation aux changements climatiques partout au pays. Les projets sont exécutés par les organisations les mieux placées pour atteindre les publics cibles, au moyen d'un éventail d'approches pour acquérir des compétences et de l'expertise en matière d'adaptation aux changements climatiques.

Sources : ¹BIC, 2021a; ²BIC, 2021b; ³Gouvernement du Canada, 2020a; ⁴Gouvernement du Canada, 2020e; ⁵Gouvernement du Canada, 2020d; ⁶Asset Management Ontario, 2021; ⁷Vogel, 2015; ⁸FCM, 2021; ⁹Sécurité publique Canada, 2021; ¹⁰RNCAN, 2021.

Le gouvernement fédéral envisage d'utiliser d'autres mécanismes pour accroître le financement des infrastructures résilientes aux changements climatiques. L'**assurance** est un mécanisme de partage et de transfert des risques qui peut encourager les mesures d'adaptation (Chambwera, et coll., 2014). La pénétration de l'assurance est considérable au Canada, et le gouvernement fédéral travaille avec les provinces et les territoires pour combler une lacune dans l'assurance contre les inondations terrestres (Zerbe, 2019). Un groupe de travail a été mis sur pied pour examiner les options d'un programme d'assurance contre les inondations à faible coût afin de protéger les propriétaires à risque élevé d'inondation et sans protection d'assurance adéquate (Sécurité publique Canada, 2020b).

Les **obligations vertes** peuvent offrir des occasions de financer des infrastructures résilientes au climat. La plupart des obligations vertes émises au Canada ont été axées sur l'atténuation, seulement 3 % des 15,2 milliards de dollars canadiens en obligations vertes et climatiques émises au Canada de 2014 à 2019 ayant été utilisées spécialement pour des projets d'adaptation (Climate Bonds Initiative, 2019a). Il y a toutefois un intérêt croissant pour l'utilisation des obligations vertes pour financer les investissements dans l'adaptation, ainsi que pour les obligations de résilience qui en sont à un stade très précoce de développement (Bascunan et coll., 2020). En 2020, un projet de protection contre les inondations a été la première initiative à recevoir du financement des Obligations vertes de l'Ontario dans la catégorie de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques (Office ontarien de financement, 2020). Le gouvernement fédéral a l'intention d'émettre sa toute première obligation verte en 2021-2022 pour aider à financer ses dépenses en infrastructure verte (Gouvernement du Canada, 2020c).



La pression croissante des investisseurs en ce qui a trait à la **divulcation des risques climatiques** peut influencer les propriétaires d'infrastructures à cerner et à signaler les risques concrets liés au climat, comme les dommages potentiels aux infrastructures causés par des phénomènes météorologiques extrêmes. Le Groupe de travail sur les divulgations financières liées au climat (GTDFC), formé par le Conseil de stabilité financière de la Banque des règlements internationaux, a souligné la « transition » et « l'aspect concret » des risques et possibilités pour les institutions publiques et privées découlant des changements climatiques (GTDFC, 2017). La mise en œuvre du cadre du GTDFC par les principaux investisseurs dans les infrastructures publiques, comme les fonds de pension publics canadiens, peut accroître la sensibilisation aux infrastructures résilientes aux changements climatiques et aux mesures visant à protéger les actifs d'infrastructure contre les risques climatiques. Plusieurs grandes villes canadiennes ont déjà commencé à déclarer les risques climatiques dans leurs rapports financiers, en utilisant les directives élaborées par les Comptables professionnels agréés du Canada (CPA Canada, 2019, 2021).

Le gouvernement du Canada a créé le **Conseil d'action en matière de financement durable** en 2021 (Ministère des Finances Canada, 2021). Le Conseil est chargé de formuler des recommandations « pour attirer et accroître le financement durable au Canada, notamment en renforçant les divulgations liées au climat, en garantissant l'accès à des données utiles sur la durabilité et sur les risques climatiques, et en élaborant des normes servant à déterminer que les investissements sont durables » (Gouvernement du Canada, 2020c, p. 101).

4.3.2 Programmes internationaux

Divers pays ont des programmes qui pourraient fournir des leçons pour les initiatives canadiennes visant à encourager les infrastructures résilientes aux changements climatiques. Par exemple, nous offrons une **assurance contre les inondations** terrestres pour réduire les risques de catastrophe. Le National Flood Insurance Program (Programme national d'assurance contre les inondations) du gouvernement des États-Unis vient en aide à plus de cinq millions de souscripteurs situés dans des collectivités situées dans des zones inondables à risque élevé qui sont tenus d'adopter et d'appliquer des règlements sur la gestion des plaines inondables. La Federal Emergency Management Agency (Agence fédérale de gestion des urgences) [FEMA, 2021] gère le programme et est responsable de la souscription de la couverture d'assurance contre les inondations vendue en vertu de celui-ci. Au Royaume-Uni, le programme Flood Re est un programme de réassurance qui intègre la couverture en cas d'inondation à l'assurance habitation pour les propriétés jugées à risque élevé d'inondation (Flood Re, 2021). Le gouvernement du Royaume-Uni ne fournit pas de fonds publics pour le programme; il a plutôt convenu de fournir des ressources pour apporter une aide si le pays est frappé par une inondation particulièrement coûteuse (Grey, 2013). De plus, en mettant l'accent sur la réduction des risques par l'assurance et l'investissement, la Fédération internationale des coopératives et mutuelles d'assurance, qui compte des membres dans plus de 60 pays (y compris le Canada), collabore avec le BNURRC sur les moyens d'intégrer les incitations à la réduction des risques de catastrophe dans les décisions en matière d'assurance et d'investissement, notamment grâce à une collaboration plus



étroite entre les secteurs public et privé, les législateurs et les organismes de réglementation pour accroître les investissements des entreprises tenant compte du risque (Fédération internationale des coopératives et mutuelles d'assurance, 2021).

Les **fonds renouvelables** peuvent être utilisés pour intégrer l'adaptation aux projets d'infrastructure. Le Drinking Water State Revolving Fund est un partenariat fédéral-État dans le cadre duquel l'Environmental Protection Agency (EPA) accorde des subventions aux États. Les fonds sont utilisés pour des programmes et sont placés dans un fonds de prêts renouvelables réservé à des projets d'infrastructure d'eau potable (EPA, 2020b). Le financement peut être utilisé pour intégrer la résilience au climat, comme les barrières physiques contre les inondations, le déplacement d'une usine de traitement hors d'une plaine inondable et l'ajout de caractéristiques résistantes au vent (EPA, 2020a).

Les **obligations vertes** ont été utilisées avec succès dans de nombreux pays, et la publication des Principes de résilience climatique par la Climate Bonds Initiative en 2019 devrait accroître les investissements dans la résilience climatique dans les infrastructures naturelles et construites (Climate Bonds Initiative, 2019b). Le gouvernement fédéral des États-Unis encourage les investissements privés dans les infrastructures municipales en appuyant les obligations municipales, y compris les obligations vertes, avec des exemptions fiscales et des subventions (Climate Bonds Initiatives, 2021). L'État de la Californie est également en train de développer une obligation de résilience climatique. Si celle-ci est approuvée par les électeurs, l'État émettra des obligations d'un montant de 5,5 milliards de dollars américains en 2022 pour des projets de lutte contre les risques climatiques, y compris la protection contre les feux de forêt, l'eau potable, la préparation à la sécheresse et la protection contre les inondations (Agri-Pulse Communications, 2021).

Certains pays ont mis en place des incitations spécifiques pour encourager la **divulgaration des risques physiques** liés aux changements climatiques. La France exige que les sociétés cotées en bourse produisent des rapports sur les impacts du changement climatique (OCDE, 2018a), et les gouvernements de la Grande-Bretagne et de la Nouvelle-Zélande ont instauré une divulgation obligatoire harmonisée avec le GTDFC pour les sociétés (Beauchemin, 2020).

5.0

Conclusions





Les effets du réchauffement climatique affectent de plus en plus la vie des Canadiens, notamment en raison des dommages causés aux infrastructures essentielles. Les changements climatiques plus lents, comme la fonte du pergélisol et l'érosion côtière, ont déjà des répercussions sur les régions nordiques et côtières. Les phénomènes météorologiques extrêmes comme les inondations et les feux de forêt sont de plus en plus fréquents et graves partout au Canada. **Les coûts des dommages causés par ces catastrophes météorologiques sont importants et augmentent;** ils s'élèvent actuellement à des milliards de dollars par année (ICCC, 2020). Ces processus plus lents et ces événements extrêmes endommagent les biens d'infrastructure et perturbent les services qu'ils fournissent, mettant en danger les collectivités, les particuliers et les entreprises.

Il n'est tout simplement plus possible de s'appuyer sur l'expérience du climat passé pour concevoir et entretenir les infrastructures essentielles. La longue durée de vie de nombreux biens d'infrastructure fait qu'il est plus important de se tourner vers l'avenir au moment de prendre des décisions concernant leur emplacement, leur conception, leur construction et leur exploitation, tout en reconnaissant que le renforcement de la résilience climatique des infrastructures accroît la résilience des collectivités à long terme. Pour renforcer cette résilience, il faut investir dans de nouvelles infrastructures qui protègent les collectivités et accroître la résilience générale de toutes les infrastructures existantes.

Investir dans des infrastructures résilientes aux changements climatiques est logique sur les plans scientifique, social et économique. Comme l'a souligné le Comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation, l'infrastructure physique est un domaine où les mesures peuvent grandement réduire les risques climatiques. Pour faire face à ce risque, il faut s'assurer que les investissements importants nécessaires pour combler le déficit d'infrastructure au Canada, y compris pour les collectivités éloignées et autochtones, sont effectués de manière à accroître la résilience des infrastructures existantes et futures construites et naturelles. Si ces investissements sont faits en tenant compte des changements climatiques, des ratios avantages-coûts positifs peuvent être réalisés et la résilience des collectivités aux changements climatiques peut être atteinte. Parmi les autres avantages, mentionnons la création d'emplois et la croissance économique, la réduction des coûts associés aux secours en cas de catastrophe, la réduction du coût total de propriété des infrastructures publiques et la continuité des services pour les collectivités canadiennes.

Comme le décrit la section 3.2, **on comprend de mieux en mieux le risque que posent les changements climatiques pour les infrastructures construites et la façon dont ces risques peuvent être atténués** grâce à la planification et à l'évaluation, aux changements structurels et à une surveillance et un entretien améliorés. L'élaboration et la mise en œuvre de ces stratégies exigent de réunir divers groupes d'experts ainsi que des connaissances provenant de professionnels comme des ingénieurs, des climatologues, des experts financiers et du personnel opérationnel. Il est essentiel d'intégrer les connaissances autochtones et les connaissances scientifiques occidentales dans la conception et la mise en œuvre d'une infrastructure résiliente pour mieux comprendre les risques et les solutions possibles (Cappell, 2019).



On est également de plus en plus sensibilisé au potentiel des infrastructures naturelles pour atténuer les effets des changements climatiques, soit individuellement, soit en combinaison avec les infrastructures bâties. **L'infrastructure naturelle peut jouer un rôle important dans l'amélioration de la résilience des collectivités tout en procurant d'autres avantages importants**, notamment pour la santé mentale, la conservation de la biodiversité et les services écosystémiques comme la séquestration du carbone. L'expérience du déploiement d'infrastructures naturelles au Canada et partout dans le monde a démontré qu'il s'agit d'une solution rentable. Comparativement à l'investissement dans les infrastructures bâties, il s'agit souvent d'une utilisation plus efficace des fonds comme moyen de protéger nos collectivités contre les inondations, d'atténuer les dommages causés par les inondations, de filtrer notre eau potable, de réduire nos émissions de gaz à effet de serre et d'offrir une foule d'avantages sociaux et environnementaux.

Des mesures ont été prises à l'échelle du Canada pour accroître la résilience des infrastructures aux changements climatiques grâce à des options d'adaptation particulières mises en œuvre par les propriétaires d'actifs, à des stratégies à l'échelle de l'économie et à des politiques et investissements ciblés. Voici des exemples de mesures prises au niveau fédéral, stimulées en partie par l'engagement du CPCPCC à renforcer la résilience aux changements climatiques au moyen de l'infrastructure :

- Ressources élaborées dans le cadre de l'IRCCIPB
- Introduction de l'exigence de financement de l'Optique des changements climatiques d'Infrastructure Canada
- Renforcer les capacités par le biais du programme Des normes pour la résilience climatique des infrastructures
- Financement par le FAAC
- Soutien aux infrastructures naturelles
- Programme Municipalités pour l'innovation climatique offert par la FCM

L'élaboration prévue de la première Stratégie nationale d'adaptation du Canada et la prochaine première évaluation nationale de l'infrastructure devraient fournir des occasions supplémentaires de comprendre et de planifier les risques liés au climat pour les infrastructures bâties et naturelles. On s'attend en particulier à ce que cette évaluation guide les futurs investissements du Canada dans les infrastructures publiques.

Bien que les progrès réalisés au Canada en matière d'infrastructure résiliente aux changements climatiques se soient effectivement accélérés au cours de la dernière décennie, **il faut prendre d'autres mesures dans des domaines précis, notamment :**

- **Incitation et capacité accrues d'appliquer des outils de planification et d'évaluation tenant compte des risques liés aux changements climatiques dans la prise de décisions et la conception.** De plus en plus d'outils, de guides et de normes



sont disponibles, comme les évaluations de la résilience climatique liée aux infrastructures et la divulgation des risques climatiques. Alors que des programmes comme la désignation professionnelle Résilience des infrastructures et le RCERA aident à accroître la capacité des ingénieurs et des planificateurs à utiliser ces ressources, il y aura un besoin continu d'encourager et de soutenir la capacité des professionnels, qu'ils soient nouveaux ou établis, à intégrer les considérations liées aux changements climatiques dans leur pratique.

- **Capacité accrue de suivre des voies souples, robustes et redondantes pour adapter l'infrastructure.** Les incertitudes associées à la façon dont le climat changera, l'incidence de ces changements sur différentes infrastructures, la possibilité d'effets en cascade et l'efficacité des stratégies de réduction des risques donnent à penser que des approches d'adaptation souples, robustes et redondantes sont essentielles. Ces stratégies permettront aux infrastructures d'être plus résilientes aux effets des changements climatiques et d'atténuer le risque de mésadaptation (Risk Sciences International et le Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2015; Swanson et Bhadwal, 2009; Venema, 2017).
- **Amélioration des options d'adaptation structurelle pour l'infrastructure.** Bien qu'un large éventail de solutions aient été déterminées pour réduire ou éliminer l'impact des dangers climatiques sur différents types d'infrastructure, il faudra poursuivre et accélérer la recherche et le développement pour trouver des options d'adaptation nouvelles et améliorées. Cela aidera également à mettre à jour les codes et les pratiques de conception du bâtiment qui tiennent compte des changements climatiques.
- **Amélioration de la surveillance et de l'entretien des infrastructures pour tenir compte des changements climatiques.** Une grande partie de l'infrastructure du Canada a déjà besoin d'être modernisée ou remplacée, et les changements climatiques peuvent accélérer le processus de vieillissement. Un investissement accru dans la gestion des actifs et la surveillance et l'entretien connexes peut aider à faire en sorte que l'infrastructure existante continue d'offrir les services prévus à mesure que les conditions changent.
- **Il faut plus de sources de financement diversifiées.** Il faut investir des milliards de dollars dans les infrastructures bâties et naturelles pour combler le manque d'infrastructures tout en s'adaptant aux changements climatiques. Les initiatives publiques et privées, comme celles appuyées par la Banque de l'infrastructure du Canada, constituent un moyen de répondre à ce besoin. Il faut également accroître le recours aux mécanismes de financement du secteur privé, comme les obligations vertes et les obligations de résilience, ainsi qu'aux incitatifs et aux investissements offerts par l'entremise de produits et de services d'assurance.
- **Intégration accrue des solutions d'infrastructure bâtie et naturelle.** Bien que l'on soit de plus en plus conscient du potentiel des approches d'infrastructure bâtie et naturelle hybrides pour accroître la résilience des collectivités et de l'économie du Canada aux changements climatiques, l'application de cette approche est actuellement limitée.



D'autres efforts sont nécessaires pour documenter, communiquer et faciliter les avantages économiques, sociaux et écologiques des solutions intégrées.

- **Une plus grande prise en compte des facteurs sociaux interreliés.** Les facteurs socioéconomiques, y compris l'inégalité et la marginalisation des peuples autochtones, sont essentiels à la planification et à l'investissement pour la résilience climatique, afin de s'assurer que les interventions et l'infrastructure sont inclusives et bénéfiques pour tous⁶.

En prenant de telles mesures, les **Canadiens peuvent continuer de se tenir au courant des politiques novatrices et des options d'adaptation pour les infrastructures résilientes aux changements climatiques mises en œuvre par d'autres pays dans le monde.** À titre d'exemple, mentionnons le document d'orientation du Royaume-Uni intitulé *Designing for Infrastructure Resilience*, le cadre paneuropéen pour le renforcement de la résilience des infrastructures essentielles aux changements climatiques de l'Union européenne, le *Envision Sustainable Infrastructure Framework* de l'ASCE, et la Norme pour avoir des infrastructures durables et résilientes élaborée par la Global Infrastructure Basel Foundation et la banque d'investissement française Natixis, pour n'en nommer que quelques-uns.

Étant donné que les infrastructures au Canada appartiennent à des particuliers, à des entreprises et à des gouvernements à tous les niveaux, et qu'elles sont exploitées par eux, il est essentiel que tous les intervenants participent à la réflexion sur des solutions d'infrastructure résilientes. Par conséquent, **l'atteinte des objectifs en matière d'infrastructure résiliente aux changements climatiques au Canada nécessite une approche intégrée à l'échelle de la société qui tire parti de la créativité et de l'organisme des Canadiens pour renouveler la vision des décisions en matière d'infrastructure.** Une telle approche est déjà adoptée par la plupart des cadres d'infrastructure résilients internationaux, nationaux et infranationaux. Son adoption aidera à faire en sorte que l'ingéniosité des professionnels de l'infrastructure, des décideurs et des gardiens du savoir des Premières Nations, des Métis et des Inuits au sein des provinces et des territoires et dans l'ensemble de ceux-ci puisse s'unir pour bâtir une infrastructure résiliente aux changements climatiques au Canada.

⁶ Comme discuté et recommandé dans Sauchyn et coll. (2020).



Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). (2010). *Les brise-vent : lignes directrices sur la conception de brise-vent pour les cours d'exploitation agricoles, les champs, le bétail, la faune et les bandes tampons riveraines dans les Prairies*. Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2010/agr/A125-2-2010-fra.pdf
- Agri-Pulse Communications. (2021). *Daybreak: Climate resilience bond returns*. <https://www.agri-pulse.com/articles/14980-daybreak-climate-resilience-bond-returns>
- Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation. (2017). *National Infrastructure and Buildings Climate Change Adaptation State of Play Report*. Préparé pour le Groupe de travail sur l'infrastructure et les bâtiments, qui fait partie de la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques. http://www.ibwgsop.org/assets/IBWG_SOP_Final_August_10_2017.pdf
- American Society of Civil Engineers. (2021). *A comprehensive assessment of America's infrastructure: 2021 report card*. https://infrastructurereportcard.org/wp-content/uploads/2020/12/National_IRC_2021-report.pdf
- Andrey, J., Kertland, P., et Warren, F. (2014). Eau et infrastructure de transport Dans F.J. Warren et D.S. Lemmen (Éds.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation* (pages 233 à 252). Gouvernement du Canada. https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre8-Infrastructures_Fra.pdf
- Asset Management Ontario. (2021). *Climate change and asset management*. <https://amontario.ca/content.asp?contentid=167>
- Association canadienne de l'électricité (ACE). (2016). *Adaptation aux changements climatiques : Bilan de la situation et recommandations pour le secteur de l'électricité au Canada*. http://www.electricity.ca/media/reportspublications/adaptation_aux_changements_climatiques-bilan_de_la_situation_et_recomman.pdf
- Association canadienne de la construction (2021). *Force, résilience et durabilité : Recommandations du secteur de la construction du Canada sur les mesures d'adaptation au changement climatique*. <https://www.cca-acc.com/wp-content/uploads/2021/03/Force-r%C3%A9silience-et-durabilit%C3%A9-FR.pdf>
- Association canadienne des barrages. (2019). *Barrages au Canada*. https://www.cda.ca/FR/Barrages_au_Canada/Barrages_au_Canada/FR/Barrages_au_Canada.aspx?hkey=e59a05ad-29d8-4e23-abe5-303473c63efd.pdf



- Association des collectivités des Territoires du Nord-Ouest. (2011). *The technical opportunities & economic implications of permafrost decay on public infrastructure in the Northwest Territories*. <https://climatechange.toolkitnwtac.com/wp-content/uploads/sites/21/2018/02/reports-section.pdf>
- Association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement. (2013). *Addressing adaptation in the oil and gas industry*. <https://www.iecea.org/resources/awareness-briefing/addressing-adaptation-in-the-oil-and-gas-industry/>
- Atlas climatique du Canada. (2021). *Les incendies de forêt et le changement climatique*. <https://atlasclimatique.ca/les-incendies-de-foret-et-le-changement-climatique>
- Auld, A. (2019). *The big picture: The looming threat of rising sea levels – and what we can do about it*. Dal News. Université Dalhousie. <https://www.dal.ca/news/2019/12/12/the-big-picture--the-looming-threat-of-rising-sea-levels---and-w.html>
- Banque de l'infrastructure du Canada. (2021a). *À propos de la BIC*. <https://cib-bic.ca/fr/a-propos/>
- Banque de l'infrastructure du Canada. (2021b). *Titre du projet : L'irrigation en Alberta*. <https://cib-bic.ca/fr/projets/irrigation-en-alberta/>
- Baraniuk, C. (2021). *Climate change: The fragile future of roads and buildings built on permafrost*. BBC Future. <https://www.bbc.com/future/article/20210303-the-unsure-future-of-roads-and-buildings-on-melting-ground>
- Bascunan, F.L., Molloy, D. et Sauer, B. (2020). *What are resilience bonds and how can they protect us against climate crises?* Global Center on Adaptation. <https://gca.org/what-are-resilience-bonds-and-how-can-they-protect-us-against-climate-crises/>
- Bassi, A., Pallaske, G. et Stanley, M. (2019). *An application of the Sustainable Asset Valuation (SAVi) methodology to Pelly's Lake and Stephenfield Reservoir, Manitoba, Canada*. International Institute for Sustainable Development. <https://www.iisd.org/publications/application-sustainable-asset-valuation-savi-methodology-pellys-lake-and-stephenfield>
- Beauchemin, R. (2020). Canadian companies' poor climate-risk disclosure threatens to drive investors away. *Globe & Mail*. <https://www.theglobeandmail.com/business/commentary/article-canadian-companies-poor-climate-risk-disclosure-threatens-to-drive/>
- Bellet, L. (2013). *Shelterbelts make the landscape more resilient and sustainable*. Manitoba Co-Operator. <https://www.manitobacooperator.ca/news-opinion/news/shelterbelts-make-the-landscape-more-resilient-and-sustainable/>
- Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C. et Da Silva, L. (2015). *Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques*. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Rapport soumis à Ouranos https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportBernatchez2015_FR.pdf



- BluePlan Engineering. (2019). *Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes 2019*. Association des firmes de génie-conseil du Canada (AFGC), Association canadienne de la construction (ACC), Association canadienne des parcs et des loisirs (ACPL), Association canadienne des travaux publics (ACTP), Société canadienne de génie civil (SCGC), Association canadienne du transport urbain (ACTU), Réseau canadien des gestionnaires d'actifs (CNAM) et Fédération canadienne des municipalités (FCM). <http://www.canadianinfrastructure.ca/fr/index.html>
- BOMA Canada. (2019). *Avez-vous bien préparé votre immeuble? Guide de résilience 2019*. http://bomacanada.ca/wp-content/uploads/2019/11/BOMA_Resilience_Brief_FRE_v2.pdf
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013). *Climate change adaptation and Canadian infrastructure: A review of the literature*. International Institute for Sustainable Development. https://www.iisd.org/system/files/publications/adaptation_can_infrastructure.pdf
- BuildForce Canada. (2020). *Construction and maintenance looking forward. National summary: Highlights 2020-2029*. <https://www.constructionforecasts.ca/sites/forecast/files/highlights/2020/2020%20National%20Constr%20Maint%20Looking%20Forward.pdf>
- Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités. (2020). *Investir dans l'avenir du Canada : le coût de l'adaptation au climat*. <https://data.fcm.ca/documents/focus/investir-dans-avenir-du-canada-le-cout-de-adaptation-au-climat-summary.pdf>
- Bureau de Normalisation du Québec (BNQ). (2017). *Études géotechniques pour les fondations de bâtiments construites dans les zones de pergélisol*. <https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/genie-civil-et-infrastructures-urbaines/etudes-geotechniques-pour-les-fondations-de-batiments-construites-dans-les-zones-de-pergelisol.html>
- Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes (BNURRC). (2015). *Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe*. https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf
- Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes. (2016). *Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction*. <https://www.undrr.org/publication/report-open-ended-intergovernmental-expert-working-group-indicators-and-terminology>
- Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes. (2020). *Words into action: Nature-based solutions for disaster risk reduction*. <https://www.preventionweb.net/publications/view/74082>
- Bureau du vérificateur général de la Colombie-Britannique. (2018). *Managing Climate Changes Risks: An independent audit*. https://www.bcauditor.com/sites/default/files/publications/reports/Climate_Change_FINAL.pdf
- Bush, E. et Lemmen, D.S. (Éds.), (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada. <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>



- Canadian Press. (2017). Fort McMurray rebuild going faster than expected, says CMHC. *Maclean's*. <https://www.macleans.ca/news/fort-mcmurray-rebuild-going-faster-than-expected-says-cmhc/>
- Cannon, A. J., Jeong, D.I., Zhang, X. et Zwiers, F.W. (2021). *Bâtiments et infrastructures publiques de base résistants aux changements climatiques : Évaluation des effets des changements climatiques sur les données de conception climatique au Canada*. Environment and Climate Change Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2021/eccc/En4-415-2020-fra.pdf
- Cappell, E. (2019). *Groupe de travail sur les infrastructures résilientes : Document de discussion*. Document non publié.
- Centre canadien des services climatiques. (2021). *Répertoire de ressources climatiques*. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques.html>
- Centre Intact d'adaptation au climat. (2019). *Surmonter la tempête : élaborer une norme canadienne pour rendre les zones résidentielles existantes résilientes face aux inondations*. <https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/01/Surmonter-La-Temp%C3%AAte.pdf>
- Centre Intact d'adaptation au climat. (s.d.). *Programme de protection des habitations contre les inondations*. <https://www.centreintactadaptationclimat.ca/programmes/le-programme-de-protection/>
- Chambwera, M., Heal, G., Dubeux, C., Hallegatte, S., Leclerc, L., Markandya, A., McCarl, B., Mechler, R. et Neumann, J. (2014). Economics of adaptation. Dans C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (Éds.). *Changements climatiques : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, (pages 945 à 977). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap17_FINAL.pdf
- Chausson, A., Turner, B., Seddon, D., Chabaneix, N., Girardin, C., Kapos, V., Key, I., Roe, D., Smith, A., Woroniecki, S. et Seddon, N. (2020). Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Global Change Biology*, 26, 6134–6155. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.15310>
- Chimner, R. A., Cooper, D.J., Bidwell, M.D., Culpepper A., Zillich, K. et Nydick, K. (2019). A new method for restoring ditches in peatlands: ditch filling with fiber bales. *Restoration Ecology*, 27(1), 63–69.
- Chopik, C. (2019). *Canada's real estate sector needs to own up to climate risks*. Corporate Knights. <https://www.corporateknights.com/channels/climate-and-carbon/extreme-weather-impacting-real-estate-sector-15683881/>



- Clavet-Gaumont, J., Huard, D., Frigon, A., Koenig, K. Slota, P., Rousseau, A. Klein, I., Thiémonge, N., Houdré, F., Perdikaris, J., Turcotte, R., Lafleur, J. et Larouche, B. (2017). Probable maximum flood in a changing climate: An overview for Canadian basins. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 11–25.
- Climate Bonds Initiative. (2019a). *Canada: Green finance state of the market – 2018*. https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_canada_sotm_2018_web.pdf
- Climate Bonds Initiative. (2019b). *Climate resilience principles*. <https://www.climatebonds.net/climate-resilience-principles>
- Climate Bonds Initiative. (2021). *Tax incentives for issuers and investors*. <https://www.climatebonds.net/policy/policy-areas/tax-incentives>
- Climate-Safe Infrastructure Working Group to the California State Legislature and the Strategic Growth Council (CSIWG). (2018). *Paying it forward: The path toward climate-safe infrastructure in Canada*. https://resources.ca.gov/CNRALegacyFiles/docs/climate/ab2800/AB2800_Climate-SafeInfrastructure_FinalWithAppendices.pdf
- Coalition for Disaster Resilient Infrastructure (CDRI). (2021). <https://www.cdri.world/>
- Cohen, S., Bush, E., Zhang, X., Gillett, N., Bonsai, B., Derkson, C., Float, G., Greenan, C. et Watson, E. (2019). Le contexte national et mondial des changements régionaux au Canada. Dans E. Bush et D.S. Lemmen (Éds.), *Rapport sur le climat changeant du Canada* (pages 424 à 443). Gouvernement du Canada. https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2019/01/RCCC_Chapitre8-ContextenationaletmondialdeschangementsregionauxauCanada.pdf
- Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature. (2019). *Nature-based solutions for climate change adaptation & disaster risk reduction*. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2019/07/uicn-g20-light.pdf>
- Comité permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles. (2018). *Réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'environnement bâti au Canada*. Canada, Parlement, Sénat. https://sencanada.ca/content/sen/committee/421/ENEV/reports/ENEV_Batiments_FINAL_f.pdf
- Commission européenne (CE). (2016). *Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change*. JRC Science for Policy Report. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC100313/lbna27906enn.pdf>
- Commission européenne. (2018). *Renewed sustainable finance strategy and implementation of the action plan on financing sustainable growth*. https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-renewed-strategy_en
- Commission européenne. (2019). *International platform on sustainable finance*. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/international-platform-sustainable-finance-factsheet_en.pdf



- Commission européenne. (2020). *Overview of sustainable finance*. https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/overview-sustainable-finance_en
- Commission européenne. (2021). *Forging a climate-resilient Europe—The new EU strategy on adaptation to climate change*. Commission européenne. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/eu_strategy_2021.pdf
- Commission mondiale sur l'adaptation (CMA). (2019). *Adapt now: A global call for leadership on climate resilience*. <https://gca.org/reports/adapt-now-a-global-call-for-leadership-on-climate-resilience/>
- Comptables professionnels agréés du Canada. (2019). *Améliorer l'information relative aux changements climatiques fournie par les villes : Guide sur l'adoption des recommandations du GIFCC pour les villes*. <https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/information-financiere-et-non-financiere/durabilite-environnement-et-responsabilite-sociale/publications/guide-gifcc-pour-villes>
- Comptables professionnels agréés du Canada. (2021). *Information relative aux changements climatiques et prise de décisions : Ressources*. <https://www.cpacanada.ca/fr/ressources-en-comptabilite-et-en-affaires/information-financiere-et-non-financiere/rapport-de-gestion-et-autres-rapports-financiers/publications/changements-climatiques-prise-decisions>
- Conférence des Nations Unies pour le commerce et le développement. (2020). *Climate change impacts and adaptation for coastal transport infrastructure: A compilation of policies and practices* (série Transportation and Trade Facilitation, no 12). https://unctad.org/system/files/official-document/dtltlb2019d1_en.pdf
- Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). (2018). *Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat*. https://www.preventionweb.net/files/64196_naturalinfrastructurereportfr.pdf
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. (2021). *Orientation sur les pratiques exemplaires en matière d'évaluation des risques liés aux changements climatiques*. <https://ccme.ca/fr/res/riskassessmentsummaryfrsecured.pdf>
- Conseil canadien des ministres des forêts. (2009). *Vulnérabilité des arbres du Canada aux changements climatiques et propositions de mesures visant leur adaptation : un aperçu destiné aux décideurs et aux intervenants du monde forestier*. Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2010/nrcan/Fo4-28-2009-fra.pdf
- Conseil canadien des normes (CCN). (2018a). *Élaboration d'une norme de gestion de la qualité des eaux de ruissellement dans le contexte des changements climatiques*. https://www.scc.ca/fr/system/files/publications/SCC_RPT_SW-QMS_REV_FR.pdf



- Conseil canadien des normes. (2018b). *Planification communautaire, conception de bâtiments et matériaux résistants aux incendies pour les collectivités du Nord*. <https://www.scc.ca/fr/normes/avis-dintention/csa/planification-communautaire-conception-de-batiments-et-materiaux-resistants-aux-incendies-pour-les>
- Conseil canadien des normes. (2019). *Des normes pour la résilience climatique des infrastructures : bilan et défis à relever*. <https://www.scc.ca/fr/programmes-phares/environnement>
- Conseil canadien des normes. (2020). *Initiative de normalisation des infrastructures du Nord*. <https://www.scc.ca/fr/inin>
- Conseil canadien des normes. (2020). *Le Canada dynamisé à l'ère des changements climatiques : Le rôle des normes*. <https://www.scc.ca/fr/programmes-phares/environnement>
- Conseil canadien des normes. (2021). *Les constructions dans les régions pergélisolées*. <https://www.scc.ca/fr/inin/les-constructions-dans-les-regions-pergelisolees>
- Conseil consultatif en matière de croissance économique (CCCE). (2016). *Favoriser la productivité par l'entremise de l'infrastructure*. Conseil consultatif en matière de croissance économique. <https://www.budget.gc.ca/aceg-ccce/pdf/infrastructure-fra.pdf>
- Conseil de l'Arctique. (2019). *Arctic climate change update 2019: An update to key findings of snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017*. <https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2353/ccupdate18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Conseil des académies canadiennes (CAC). (2019). *Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada*. <https://www.rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-Les-principaux-risques-des-changements-climatiques-pour-le-Canada.pdf>
- Conseil des académies canadiennes. (2019). *Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada. Le comité d'experts sur les risques posés par les changements climatiques et les possibilités d'adaptation*. <https://www.rapports-cac.ca/wp-content/uploads/2019/07/Rapport-Les-principaux-risques-des-changements-climatiques-pour-le-Canada.pdf>
- Conseil des ministres responsable des transports et de la sécurité routière. (2019). *Canada's national highway system annual report 2017*. <https://www.comt.ca/Reports/NHS%20Annual%202017.pdf>
- Conseil international de la science (CIS) et Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes (BNURRC). (2020). *Hazard definition and classification review*. <https://www.undrr.org/publication/hazard-definition-and-classification-review>
- Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et Infrastructure Canada. (2020). *Initiative sur les immeubles résilients aux changements climatiques et les infrastructures publiques de base*. <https://www.infrastructure.gc.ca/plan/crbcp-irccipb-fra.html>
- Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). (2015). *Accord de Paris*. https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf



- Credit Valley Conservation. (2013). *Low impact development business and multi-residential retrofits*. <https://cvc.ca/wp-content/uploads/2013/10/SWI-Grey-to-Green-Business-Multires-Retrofits-Complete1.pdf>
- Cui, X., Alam, Md A., Perry, G.L., Paterson, A.M., Wyse, S.V. et Curran, T.J. (2019). Green firebreaks as a management tool for wildfires: Lessons from China. *Journal of Environmental Management* 233(1), 329-336. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718314658>
- D'Auteuil, A., McTavish, S., Raesi, A., Szilder, K. et Dionne, M. (2018). *Effect of surface treatments on the aerodynamics of a stay cable with ice accretion* (no LTR-AL-2017-0099). Conseil national de recherches du Canada.
- Department for International Development (DFID). (2016). *Introducing infrastructure resilience*. <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/introducing-infrastructure-resilience>
- Di Liberto, T. (2016). *Climate connections to Fort McMurray fire*. NOAA [Climate.gov](https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/climate-connections-fort-mcmurray-fire) <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/climate-connections-fort-mcmurray-fire>
- Dietz, S. et Hoyt., J. (2016). Annexe 2 : Cost-benefit analysis of climate change adaptation options for the Chignecto Transportation Corridor. Dans H. Parnham, S. Arnold et A. Fenech, A. (Éds.), *Using cost benefit analysis to evaluate climate change adaptation options in Atlantic Canada*. Rapport de l'Atlantic Canada Adaptation Solutions Association soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada. <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%253A779>
- Dion, J. et McCandless, M. (2013). *Cost-benefit analysis of three proposed distributed water storage options for Manitoba*. <https://www.iisd.org/publications/cost-benefit-analysis-three-proposed-distributed-water-storage-options-manitoba>
- Energy & Environmental Sustainability et Integral Group. (2020). *Climate resilience guidelines for BC health facility planning and design*. https://bcgreencare.ca/system/files/resource-files/Climate-Resilience-Guidelines-for-BC-Health-Facility-Planning-and-Design_v1.0_0.pdf
- Engineers and Geoscientists British Columbia. (2020). *Developing climate change-resilient designs for highway infrastructure in British Columbia*. <https://www.egbc.ca/getmedia/b60921fc-a820-41be-868f-02f0d3d92892/EGBC-BCMOTI-Climate-Resilient-Design-Highway-V2-0.pdf.aspx>
- Enright, N.J., Fontaine, J.B., Lamont, B.B., Miller, B.P. et Westcott, V.C. (2014). Resistance and resilience to changing climate and fire regime depend on plant functional traits. *Journal of Ecology*, 102(6), 1572–1581. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12306>
- Environmental and Energy Study Institute. (2019). *Fact sheet | Nature as resilient infrastructure – An overview of nature-based solutions*. <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-nature-as-resilient-infrastructure-an-overview-of-nature-based-solutions>



- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) (2011a). *Cadre stratégique fédéral sur l'adaptation*. https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/cc/content/2/b/2/2b2a953e-756b-4e8c-a2ba-3fbdc3324dba/4214_federal-20adaptation-20policy-20framework_fr.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2011b). *Rapport d'étape sur la stratégie fédérale de développement durable 2010-2013*. https://publications.gc.ca/collections/collection_2011/ec/En1-46-2010-fra.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2013). *Rapport d'étape de 2012 sur la Stratégie fédérale de développement durable*. http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/En1-46-2012-fra.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2016). *Rapport d'étape de 2015 sur la Stratégie fédérale de développement durable*. http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En1-46-2015-fra.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2018). *Réaliser un avenir durable : Rapport d'étape sur la stratégie fédérale de développement durable 2016 à 2019*. http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En4-136-2019-fra.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2019). *Section 1 : Aperçu de l'approche du gouvernement fédéral en matière de développement durable*. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/transparence/priorites-gestion/plans/2019-2020/strategie-developpement-durable-2017-2020.html>
- Environnement et Changement climatique Canada. (2020). *Un environnement sain et une économie saine : Le plan climatique renforcé du Canada pour créer des emplois et soutenir la population, les communautés et la planète*. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/plan-climatique/survol-plan-climatique/environnement-sain-economie-saine.html>
- EU-CIRCLE. (2020). *A pan-European framework for strengthening critical infrastructure resilience to climate change*. https://www.preventionweb.net/files/63802_eucirclefinalreportv2.pdf
- Federal Emergency Management Agency. (2021). *Floods and maps: Flood insurance*. <https://www.fema.gov/flood-insurance>
- Fédération canadienne des municipalités. (2021). *Programme Municipalités pour l'innovation climatique*. <https://fcm.ca/fr/programmes/programme-municipalites-innovation-climatique>
- Felio, G. (2015). *Vulnerability and adaptation of water infrastructure to climate change*. <https://cvc.ca/wp-content/uploads/2016/09/Appendix-J-Vulnerability-and-adaption-of-water-infrastructure-to-climate-change-Version-2.pdf>
- Feltmate, B., Moudrak, N., Bakos, K. et Schofield, B. (2020). *Factoring climate risk into financial valuation*. Université de Waterloo et Centre Intact d'adaptation au climat. <https://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2020/03/Factoring-Climate-Risk-into-Financial-Valuation.pdf>



- Flood Re. (2021). Flood Re. <https://www.floodre.co.uk>
- Fluixa-Sanmartin, J., Altarejos-Garcia, L., Morales-Torres, A., Escuder-Bueno, I. (2018). Review article: Climate change impacts on dam safety. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 18, pages 2471 à 2488. <https://nhess.copernicus.org/articles/18/2471/2018/nhess-18-2471-2018.pdf>
- Ford, J. D., Couture, N., Bell, T. et Clark, D.G. (2018). Climate change and Canada's north coast: Research trends, progress, and future directions. *Environmental Review*, 26, 82–92. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/er-2017-0027>
- Ford, J.D., Bell, T., Couture, N.J. (2016). Perspectives relatives à la région de la Côte nord du Canada. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pages 153 à 206). Gouvernement du Canada. https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Chapitre5_RegionNord.pdf
- Fournier, E., Lamy, A., Pineault, K., Braschi, L., Kornelsen, K., Hannart, A., Chartier, I., Tarel, G., Minville, M. et Merleau, J. (2020). *Valeur des actifs hydroélectriques et impacts physiques du changement climatique – Guide sur l'intégration des données climatiques dans la production d'énergie aux fins de modélisation de la valeur*. Ouranos. <https://ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportFournier2020.pdf>
- G20. (2019). *G20 action agenda on adaptation and resilient infrastructure*. https://www.mofa.go.jp/policy/economy/g20_summit/osaka19/pdf/documents/en/annex_15.pdf
- Gillson, L., Whitlock, C. et Humphrey, G. (2019). Resilience and fire management in the Anthropocene. *Ecology and Society*, 24(3), 14. <https://doi.org/10.5751/ES-11022-240314>
- Global Infrastructure Basel Foundation. (2018). *SuRe: La norme pour avoir des infrastructures durables et résilientes*. <https://sure-standard.org/>
- Globe Capital. (2017). *Proceedings from Globe Capital 2017: Financing the 21st century – Infrastructure, innovation and investment*. Globe Series et le Delphi Group. <https://www.globeseries.com/globe-capital-2017-report/>
- Gouvernement de l'Ontario. (2015). *Stratégie de l'Ontario en matière de changement climatique*. <https://docs.ontario.ca/documents/4929/climate-change-strategy-fr.pdf>
- Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador (s.d.). *The way forward on climate change in Newfoundland and Labrador*. Direction générale des changements climatiques, Affaires municipales et environnement <https://www.gov.nl.ca/eccm/files/publications-the-way-forward-climate-change.pdf>
- Gouvernement des Territoires-du-Nord-Ouest. (2018). *Cadre stratégique sur le changement climatique des TNO*. https://www.enr.gov.nt.ca/sites/enr/files/resources/128-climate_change_strategic_framework_web.pdf



- Gouvernement du Canada (2008). *Loi fédérale sur le développement durable* (L.C. 2008, c.33) <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/F-8.6/>
- Gouvernement du Canada (2016). *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques*. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/cadre-pancanadien/plan-changement-climatique.html>
- Gouvernement du Canada. (2019a). *Rapport sur le climat changeant du Canada : Changements prévus au cours de ce siècle*. https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2019/04/6269_infographic_Canada_v05.pdf
- Gouvernement du Canada. (2019b). *Changements dans la neige*. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques/essentiels/tendances-projections/changements-neige.html>
- Gouvernement du Canada. (2019c). *Optique des changements climatiques – Lignes directrices générales*. <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>
- Gouvernement du Canada. (2020a). *Projets financés de 2019 à 2020, programme Se préparer aux Changements climatiques dans le Nord*. <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/fra/1594057368196/1594740847551>
- Gouvernement du Canada. (2020b). *Fonds d'adaptation et d'atténuation des catastrophes : Aperçu*. <https://www.infrastructure.gc.ca/dmaf-faac/index-fra.html>
- Gouvernement du Canada. (2020c). *Énoncé économique de l'automne de 2020*. <https://www.budget.gc.ca/fes-eea/2020/report-rapport/toc-tdm-fr.html>
- Gouvernement du Canada. (2020d). *Le Fonds de la taxe sur l'essence fédéral*. <https://www.infrastructure.gc.ca/plan/gtf-fte-fra.html>
- Gouvernement du Canada. (2020e). *Adaptation aux changements climatiques des Premières Nations : Lignes directrices sur le financement pour 2021 à 2022*. <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/fra/1520877017867/1594751383101>
- Gouvernement du Canada. (2020f). *Programme d'infrastructure du plan Investir dans le Canada*. <https://www.infrastructure.gc.ca/plan/icp-pic-INFC-fra.html>
- Gouvernement du Canada. (2020g). *Investir dans la résilience des collectivités face à la COVID-19 : Volet Résilience à la COVID-19*. <https://www.infrastructure.gc.ca/plan/covid-19-resilience-fra.html>
- Gouvernement du Canada. (2021a). *Stratégie pour un gouvernement vert : Une directive du gouvernement du Canada*. <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/services/innovation/ecologiser-gouvernement/strategie.html>
- Gouvernement du Canada. (2021b). *Centre canadien des services climatiques*. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques.html>



- Gouvernement du Nunavut. (2013). *Guide du propriétaire sur le pergélisol au Nunavut*. http://www.climatechangenunavut.ca/sites/default/files/permafrost_nunavut_fr_reduced_size.pdf
- Gouvernement du Québec. (2012). *Stratégie gouvernementale d'adaptation aux changements climatiques 2013-2020*. https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/plan_action/strategie-adaptation2013-2020.pdf
- Gouvernement du Québec. (2020). *Gagnant pour le Québec. Gagnant pour la Planète. Plan pour une économie verte 2030*. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-economie-verte-2030.pdf?1605549736>
- Gouvernement du Yukon. (2020). *Rapport sur l'état de l'environnement au Yukon, 2020*. <https://yukon.ca/sites/yukon.ca/files/env/env-yukon-state-environment-report-2020-fr.pdf>
- Government of the District of Columbia. (2020). *Resilient DC: A strategy to thrive in the face of climate change*. <https://resilient.dc.gov/page/about-resilient-dc>
- Green Infrastructure Ontario Coalition (2020). *Announcing our new report: "An economic impact assessment of the green infrastructure sector in Ontario."* <https://greeninfrastructureontario.org/announcing-our-new-report-an-economic-impact-assessment-of-the-green-infrastructure-sector-in-ontario/>
- Greenan, B.J.W., James, T.S., Pepin, P., Azetsu-Scott, K., Ianson, D., Hamme, R.C., Gilbert, D., Tremblay, J-E., Wang, X. L. et Perrie, W. (2019). Changements touchant les océans qui bordent le Canada. Chapitre 7 dans E. Bush et D.S. Lemmen (Éds.), *Rapport sur le climat changeant du Canada*, pages 353 à 423. Gouvernement du Canada. https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_Chapitre7-occe%CC%81ans.pdf
- Grey, A. (27 juin 2013). Ministers agree UK flood insurance deal. *Financial Times*. <https://www.ft.com/content/6fc3f8dc-df15-11e2-881f-00144feab7de>
- GRG Building Consultants. (2012). *Climate change vulnerability assessment: Toronto community housing building*. https://pievc.ca/wp-content/uploads/2021/01/285_shuter_final_report-1.pdf
- Groupe CSA. (2018). *CSA groups' basement flood prevention guideline helps Canadians to adapt to a changing climate*. <https://www.csagroup.org/article/csa-groups-basement-flood-prevention-guideline-helps-canadians-adapt-changing-climate/>
- Groupe CSA. (2019a). *CSA S 500:21 Fondations à thermosiphon de bâtiments construits dans des régions pergélisolées*. <https://www.csagroup.org/store/product/2703686/>
- Groupe CSA. (2019b). *CSA S 501:14 (R2019) Atténuation des effets de la dégradation du pergélisol sur les structures existantes*. <https://www.csagroup.org/store/product/CAN%25100CSA-S501-14/>



- Groupe CSA. (2019c). *CSA S 502:14 (R2019) Gestion des risques liés aux charges de neige changeantes dans le Nord canadien*. <https://www.csagroup.org/store/product/CAN%25100CSA-S502-14/>
- Groupe CSA. (2019d). *CSA S 503:15 (R2019). Planification, conception et entretien des réseaux d'évacuation des eaux usées dans les collectivités du Nord*. <https://www.csagroup.org/store/product/CAN%25100CSA-S503-15/>
- Groupe CSA. (2019e). *CSA PLUS 4011:19. Guide technique : Infrastructure dans le pergélisol : lignes directrices pour l'adaptation au changement climatique*. <https://www.csagroup.org/store/product/2703076/>
- Groupe CSA. (2019f). *Development of climate change adaptation solutions within the framework of the CSA Group Canadian Electrical Codes Parts I, II and III: Cross-country stakeholder workshops Phase II final report*. https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-RR_CEC-ClimateChange.pdf
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2014a). Annexe II : Glossaire. J. Agard, E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea et T.E. Bilir (Éds.). Dans C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (Eds.), *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie B : Aspects régionaux. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (pages 1757 à 1776). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_WGII_glossary_FR.pdf
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2014b). Sommaire pour les décideurs. Dans C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (Eds.), *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A : Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (pages 1 à 32). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_fr-1.pdf
- Groupe de la Banque mondiale. (2021). *Resilience rating system: A methodology for building and tracking resilience to climate change*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35039>
- Groupe de travail pour une reprise économique résiliente. (2020). *Un pont vers l'avenir : Rapport final du groupe de travail pour une reprise économique résiliente*. https://www.repriseresiliente.ca/tfrr-final-report_fr



- Groupe de travail sur les divulgations financières liées au climat (GTDFC). (2017). *Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures*. <https://www.fsb-tcfd.org/publications/>
- Groupe de travail sur les enjeux émergents du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs. (2017). *Climate change and adaptation in the Great Lakes: Résumé du projet*. https://www.ijc.org/sites/default/files/WQB_CCAadaptation_ProjectSummary_20170110.pdf
- Guarino, M., Sime, L.C., Schroeder, D., Malmierca-Vallet, I., Rosenblum, E., Ringer, M., Ridley, J., Feltham, D., Bitz, C., Steig, E.J., Wolff, E., Stroeve, J., Sellar, A. (2020). Sea-ice-free Arctic during the Last interglacial supports fast future loss. *Nature*, 10, 928-932. https://www.nature.com/articles/s41558-020-0865-2.epdf?sharing_token=0u6e8LeM4_dTwF4Q0PxEotRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0NFGJ9CSog2WeErJ2obXR5TFnF426caTUTZmpjgDU28D0jDA3vQNjix1mczMWg4-ZeNjrsEIPT1upIRZSGAN4LAS_pSnGsC-f3k0PWf6liNUp99ptL-JAunqGbAAFOzrlR8rVmQakwnm14PVyHAW0ipVZefrkKXlfMr10JecCZpB-E4npZqrTSBIOcim-3Jlw4%3D&tracking_referrer=www.cbsnews.com
- Guiterman, C. H., Margolis, E.Q., Allen, C.D., Falk, D. A. et Swetnam, T.W. (2018). Long-term persistence and fire resilience of oak shrubfields in dry conifer forests of northern New Mexico. *Ecosystems*, 21, 943–959. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0192-2>
- Halofsky, J.E., Peterson, D.L. et Harvey, B.J. (2020). Changing wildfire, changing forests: The effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology* 16(4). <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8>
- Harries, C. (2018, 13 au 16 juin). *The future of building foundations in the Canadian North*. Bâtir la Société de Demain, Fredericton, Canada. https://www.csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2018/pdfs/Paper_GC112_0607031005.pdf
- Hendel-Blackford, S., Brand, K, Nierop, S. et Winkel, R. (2017). *Assessing adaptation knowledge in Europe: Infrastructure resilience in the transport, energy and construction sectors*. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/infrastructure_resilience_en.pdf
- Horizon Advisors. (2019). *Benefits of adopting natural infrastructure: A comparison of natural and grey infrastructure solutions*. Horizon Advisors, commandité par Environnement et Changement climatique Canada. <https://awc-wpac.ca/wp-content/uploads/2019/08/Adopting-Natural-Infrastructure.pdf>
- Horrocks, L., Beckford, J., Hodgson, N., Downing, C., Davey, R. et O'Sullivan, A. (2010). Adapting the ICT sector to the impacts of climate change – Final report. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/183486/infrastructure-aea-full.pdf
- Howie, S. A., Whitfield, P. H., Hebda, R. J., Munson, T. G., Dakin, R. A. et Jeglum, J.K. (2009). Water table and vegetation response to ditch blocking: Restoration of a raised bog in southwestern British Columbia. *Revue canadienne des ressources hydriques*, 34(4), 381-392, <https://doi.org/10.4296/cwri3404381>



- ICF. (2018). *Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat* (Préparé pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement) https://www.preventionweb.net/files/64196_naturalinfrastructurereportfr.pdf
- Infrastructure Canada. (2006). *L'adaptation des infrastructures du Canada aux changements climatiques dans les villes et collectivités : Une analyse documentaire*. Division de la recherche et de l'analyse, Infrastructure Canada. https://www.ipcc.ch/apps/nj-lite/srex/nj-lite_download.php?id=6305
- Infrastructure Canada. (2020). *Allocution de Catherine McKenna, ministre de l'Infrastructure et des Collectivités, devant le Canadian Club Toronto*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/bureau-infrastructure/nouvelles/2020/11/allocution-de-catherine-mckenna-ministre-de-linfrastructure-et-des-collectivites-devant-le-canadian-club-toronto.html>
- Infrastructure Canada. (2021a). *Bâtir le Canada que nous voulons avoir en 2050 : Document de mobilisation sur l'Évaluation nationale des infrastructures*. <https://www.infrastructure.gc.ca/alt-format/pdf/nia-eni/nia-eni-doc-fra.pdf>
- Infrastructure Canada. (2021b). *Liste des projets du plan Investir dans le Canada*. <https://www.infrastructure.gc.ca/plan/icip-list-liste-pidc-fra.html>
- Ingénieurs Canada. (s.d.) *Désignation de Professionnel de la résilience des infrastructures (PRI)*. <https://engineerscanada.ca/fr/services-aux-ingenieurs/la-designation-de-professionnel-de-la-resilience-des-infrastructures>
- Initiative des actifs naturels municipaux. (2017). *Defining and scoping municipal natural assets*. <https://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/definingscopingmunicipalnaturalcapital-final-15mar2017.pdf>
- Innovation, Sciences et Développement économique Canada. (2019). *La haute vitesse pour tous : la stratégie canadienne pour la connectivité*. [https://www.ic.gc.ca/eic/site/139.nsf/vwapi/ISED19-170_Connectivity_Strategy_F_Web.pdf/\\$file/ISED19-170_Connectivity_Strategy_F_Web.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/139.nsf/vwapi/ISED19-170_Connectivity_Strategy_F_Web.pdf/$file/ISED19-170_Connectivity_Strategy_F_Web.pdf)
- Institut canadien sur les choix climatiques. (2020). *La pointe de l'iceberg : Composer avec les coûts connus et inconnus des changements climatiques au Canada*. <https://choixclimatiques.ca/wp-content/uploads/2020/12/COCC-Final-FRENCH-1209.pdf>
- Institut de prévention des sinistres catastrophiques (2020). *Estimating the benefits of climate resilient buildings and core public infrastructure* (Research Paper Series Number 65). Institut de prévention des sinistres catastrophiques. <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2020/03/SPA-Climate-resiliency-book.pdf>
- Institut de prévention des sinistres catastrophiques et Climate Risk Institute. (2021). *Programme PIEVC*. <https://pievc.ca>
- Institute for Sustainable Infrastructure (s.d.). *About ENVISION*. <https://sustainableinfrastructure.org/envision/overview-of-environment/>



- Intelli-feu Canada (2003). *Intelli-feu : Protégez votre localité contre les incendies forestiers*. <https://www.firesmartcanada.ca/wp-content/uploads/2019/10/Intelli-feu.pdf>
- Kopp, G.A. (2015). *Can we build disaster resilient communities? A new look at wind effects on houses*. Présentation à Building Municipal Resilience in Central Ontario. http://www.climateontario.ca/w_BMRCO.php
- Kovacs, P. et Thistlethwaite, J. (2014). Industrie. Dans F.J. Warren et D.S. Lemmen (Éds.), *Vivre avec les changements climatiques au Canada : Perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation* (pages 143 à 158). Gouvernement du Canada. https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie_Fra.pdf
- Lacasse, M., Gaur, A. et Moore, T.V. (2020). *Durability and climate change—Implications for service life prediction and the maintainability of buildings*. Buildings. <https://publications-cnrc.canada.ca/eng/view/ft?id=32ef7df4-8b7f-45bb-9b5a-75499d5134c0>
- Lafond, V., Lagarrigues, G., Cordonnier, T. et B. Courbaud. (2014). Uneven-aged management options to promote forest resilience for climate change adaptation: Effects of group selection and harvesting intensity. *Annals of Forest Science*, 71, 173–186. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0291-y>
- Lamb, D.M. (2017). *'It scares me': Permafrost thaw in Canadian Arctic sign of global trend*. CBC News. <https://www.cbc.ca/news/canada/north/it-scares-me-permafrost-thaw-in-canadian-arctic-sign-of-global-trend-1.4069173>
- Lemmen, D. S., F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke. (Éds.). (2016). *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*. Gouvernement du Canada. https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf
- Lemmen, D.S. et Warren, F.J. (Éds.). (2004). *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*. https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/perspective/pdf/report_f.pdf
- Leys, V. et Bryce, B. (2016). *Adapting to climate change in coastal communities of the Atlantic provinces, Canada: Land use planning and engineering and natural approaches. Part 3 Engineering tools adaptation options*. Ressources naturelles Canada. <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A786>
- Maritime Executive. (2021). *The Arctic shipping route no one's talking about*. <https://www.maritime-executive.com/editorials/the-arctic-shipping-route-no-one-s-talking-about>
- McClearn, M. (7 octobre 2020). Climate change threatens Canada's dams – but who's keeping track? *Globe and Mail*. <https://www.theglobeandmail.com/canada/article-climate-change-will-push-canadas-dams-to-their-limits-but-due-to/>



- Melillo, J. M., Richmond, T. C. et Yohe, G.W. (Éds.). (2014). *Climate change impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. Programme de recherche sur les changements climatiques des États-Unis.
- Mercer Clarke, C.S.L. et Clarke, A. J. (2018). *The adaptation primers. Primer two: Preparing for change*. Association des architectes paysagistes du Canada et Université de Waterloo. <https://www.aapc-csla.ca/zones-des-missions/abecedaire>
- Mercer Clarke, C.S.L., Manuel, P. et Warren, F.J. (2016). The coastal challenge. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.). *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pages 69 à 98). Gouvernement du Canada.
- Messier, C., Bausch, J., Doyon, F., Maure, F., Sousa-Silva, R., Nolet, P., Mina, M., Aquilué, N., Fortin, M.-J. et Puettmann, K. (2019). The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems*, 6 (21). <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>
- Ministère de l'Environnement et de la Stratégie en matière de changement climatique de la Colombie Britannique. (2019). *Preliminary strategic climate risk assessment for British Columbia*. <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/climate-change/adaptation/prelim-strat-climate-risk-assessment.pdf>
- Ministère des Finances Canada. (2021). *Le Canada met sur pied le Conseil d'action en matière de finance durable* [communiqué de presse]. <https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/nouvelles/2021/05/le-canada-met-sur-pied-le-conseil-daction-en-matiere-de-finance-durable.html>
- Moudrak N. et Feltmate, B. (2019). *Faire face aux inondations : Orientations pour renforcer la résilience des immeubles commerciaux au Canada*. <https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/10/Faire-face-aux-inondations-1.pdf>
- Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H. et Osman, H. (2018). *Lutter contre la hausse du coût des inondations au Canada : L'infrastructure naturelle est une option sous-utilisée* (préparé pour le Bureau de l'assurance du Canada). Centre Intact d'adaptation au climat. <http://assets.ibc.ca/Documents/Resourcess/IBC-Natural-Infrastructure-Report-2018-FR.pdf>
- Multihazard Mitigation Council. (2017). *Natural hazard mitigation saves: 2017 interim report: An independent study – Summary of findings*. Chercheur principal Porter, K.; cochercheurs principaux Scawthorn, C.; Dash, N.; Santos, J.; P. Schneider, directeur, MMC. National Institute of Building Sciences. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_ms2_interim_report_2017.pdf
- Nations Unies (NU). (2015). *Transformer notre monde. Le Programme de développement durable à l'horizon 2030*. Résolution des Nations Unies A/RES/70/1. <https://sdgs.un.org/2030agenda>



- New Jersey Climate Adaptation Alliance. (2014). *The role of buildings in climate adaptation. Climate change preparedness in New Jersey*. J. Senick (Éd.). <https://njadapt.rutgers.edu/docman-lister/resource-pdfs/111-green-bulding/file>
- Office ontarien de financement. (2020). *Bulletin sur les obligations vertes de l'Ontario 2020*. https://www.ofina.on.ca/pdf/2020_ontario_green_bond_newsletter_fr.pdf
- Olivier, A. (19 février 2019). *Roofs collapse across Quebec after province struck by heavy snow, rain*. Global News. <https://globalnews.ca/news/4970557/quebec-roof-collapse-snow-rainfall/>
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2014a). *Boosting resilience through innovative risk governance*. https://www.oecd-ilibrary.org/governance/boosting-resilience-through-innovative-risk-management_9789264209114-en
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2014b). *La Recommandation de l'OCDE sur la gouvernance des risques majeurs*. <https://www.oecd.org/fr/gov/risques/recommandation-sur-la-gouvernance-des-risques-majeurs.htm>
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2017). *Getting infrastructure right: The ten key governance challenges and policy options*. <https://www.oecd.org/gov/getting-infrastructure-right.pdf>
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2018a). *Resilient infrastructure for a changing climate* (Document d'information pour le Groupe de travail du G20 sur la durabilité du climat, Argentine). http://www.g20.utoronto.ca/2018/oecd_-_resilient_infrastructure_for_a_changing_climate.pdf
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2018b). « Climate-resilient infrastructure », OECD Environment Policy Papers, n° 14, <http://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2002). 3. *Fire Management in Plantation Forestry* (Tables 1b, 2b and 3b). <http://www.fao.org/3/ag041e/AG041E03.htm>
- Organisation internationale de normalisation (ISO). (2019). *ISO 14090:2019, Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices*. <https://www.iso.org/fr/standard/68507.html>
- Organisation internationale de normalisation. (2020a). *ISO 14092:2020 Adaptation aux changements climatiques – Exigences et recommandations relatives à la planification de l'adaptation pour les autorités locales et les communautés*. <https://www.iso.org/standard/68509.html>
- Organisation internationale de normalisation. (2020b). *ISO Guide 84:2020 Lignes directrices pour la prise en compte des changements climatiques dans les normes*. <https://www.iso.org/standard/72496.html>



- Organisation internationale de normalisation. (2021). *ISO 14091:2021 Adaptation aux changements climatiques – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques*. <https://www.iso.org/standard/68508.html>
- Organisation internationale de normalisation/Comité technique 322. (2020). *ISO/TC 322 : Sustainable finance*. <https://committee.iso.org/home/tc322>
- Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. Ouranos. <https://ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportFournier2020.pdf>
- Ouranos. (2017). *Guide de normalisation pour les données météorologiques, l'information climatique et les prévisions relatives aux changements climatiques*. [https://www.scc.ca/sites/default/files/file_attach/SCCReport Standardization guidance for Weather data Climate Change Infor. .pdf](https://www.scc.ca/sites/default/files/file_attach/SCCReport%20Standardization%20guidance%20for%20Weather%20data%20Climate%20Change%20Infor_.pdf)
- Pacte mondial des Nations unies. (2020). *Nature-based solutions to address climate change*. <https://www.unglobalcompact.org/take-action/events/climate-action-summit-2019/nature-based-solutions>
- Palko, K.G. et Lemmen, D.S. (2017). *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*. https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/risques-climatiques-et-pratiques-en-matiere-dadaptation-pour-le-secteur-canadien-des-transports-2016/19630?_ga=2.83382804.307853862.1624360114-1054575642.1623876351
- Parcs Canada. (2014). *Connecter les Canadiens à la nature : un investissement dans le mieux-être de notre société*. Parcs Canada https://parks-parcs.ca/wp-content/uploads/2020/09/ConnectingCanadians-French_web.pdf
- Pendakur, K. (2017). Les territoires du Nord. Dans Palko et D.S. Lemmen (Éds.), *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016* (pages 32 à 72). Gouvernement du Canada. <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/ClimatRisk-F-ACCESSIBLE.pdf>
- Phillipson, M.C., Emmanuel, R. et Baker, P. H. (2016). The durability of building materials under a changing climate. *WIREs Climate Change* 7(4), 475-614. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wcc.398>
- Polar and Ocean Portal. (2015). Arctic ambitions: Will US let Russia control shipping in the Far North? <http://en.polaroceanportal.com/article/196>
- Porter, K. et Scawthorn, C. (2020). *Estimating the benefits of climate resilient buildings and core public infrastructure (CRBCPI)* (ICLR research paper 65). Institut de prévention des sinistres catastrophiques. <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2020/03/SPA-Climate-resiliency-book.pdf>



- Présenté par Risk Sciences International et le Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation. (2015). *Climate change adaptation for infrastructure and planning: Case studies*. <http://www.climateontario.ca/doc/workshop/AICCID/CaseStudyPresentation.pdf>
- Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA). (2017). *Adaptation actions for a changing Arctic: Perspectives from Baffin Bay/Davis Strait Region*. <https://www.amap.no/documents/download/3015/inline>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). (2014). *Green infrastructure guide for water management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects*. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9291/-2014unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en.pdf?sequence=3>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement. (2021a). *International good practice principles for sustainable infrastructure*. <https://www.unep.org/resources/publication/international-good-practice-principles-sustainable-infrastructure>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement. (2021b). *Integrated approaches in action: A companion to the international good practice principles for sustainable infrastructure*. <https://www.unep.org/resources/publication/integrated-approaches-action-companion-international-good-practice-principles>
- Rajkovich, N. B. et Okour, Y. (2019). Climate change resilience strategies for the building sector: Examining existing domains of resilience utilized by design professionals. *Sustainability* 11(10). <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2888>
- RDH Building Science. (2020). *UBC – Designing climate resilient multi-family buildings*. Pacific Climate Impacts Consortium report. https://planning.ubc.ca/sites/default/files/2020-05/REPORT_UBC_Climate%20Resilient%20Multifamily%20Buildings.pdf
- Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada. (2019). *Cadre stratégique pour l'Arctique et le Nord du Canada*. <https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/eng/1560523306861/1560523330587>
- ReNew Canada (2021). *Top 100: Canada's biggest infrastructure projects*. <https://top100projects.ca/browse-top100/>
- Ressources naturelles Canada (RNCan). (2018a). *Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques : Les groupes de travail, les projets et les produits*. <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/les-groupes-de-travail-les-projets-et-les-produits/17295?ga=2.236731907.307853862.1624360114-1054575642.1623876351>



- Ressources naturelles Canada. (2018b). *Groupe de travail sur la synthèse des Initiatives de collaboration pour l'adaptation régionale (ICAR) et outils d'adaptation*. [https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/les-groupes-de-travail-les-projets-et-les-produits/17295?ga=2.175660576.307853862.1624360114-1054575642.1623876351#:~:text=Groupe%20de%20travail%20sur%20la%20synth%C3%A8se%20des%20Initiatives%20de%20collaboration%20pour%20l%E2%80%99adaptation%20r%C3%A9gionale%20\(ICAR\)%20et%20outils%20d%E2%80%99adaptation](https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/les-groupes-de-travail-les-projets-et-les-produits/17295?ga=2.175660576.307853862.1624360114-1054575642.1623876351#:~:text=Groupe%20de%20travail%20sur%20la%20synth%C3%A8se%20des%20Initiatives%20de%20collaboration%20pour%20l%E2%80%99adaptation%20r%C3%A9gionale%20(ICAR)%20et%20outils%20d%E2%80%99adaptation)
- Ressources naturelles Canada. (2019). *Le Canada dans un climat en changement*. <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-canada-dans-un-climat-en-changement-faire-progresser-nos-connaissances-pour-agir/19919?ga=2.148927924.307853862.1624360114-1054575642.1623876351>
- Ressources naturelles Canada. (2021). *Secteur résidentiel – Canada – Tableau 20 : Nombre total de ménages par type de bâtiment et principale source d'énergie pour le chauffage*. Base de données complète sur la consommation d'énergie. <https://oee.rncan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/showTable.cfm?type=CP§or=res&juris=ca&rn=20&page=3>
- Sandink, D., Kopp, G., Stevenson, S. et Dale, N. (2019). *Increasing high wind safety for Canadian homes: A foundational document for low-rise residential and small buildings*. Institut de prévention des sinistres catastrophiques. https://issuu.com/iclr/docs/iclr-western-scc - increasing_high_657ed06a94be60
- Sauchyn, D., Davidson, D. et Johnston, M. (2020). Provinces des Prairies. Dans F.J. Warren, N. Lulham et D.S. Lemmen (Éds.). *Chapitre 4 dans Le Canada dans un climat en changement : Le rapport sur les Perspectives régionales*. Gouvernement du Canada. <https://www.rncan.gc.ca/sites/rncan/files/earthsciences/Provinces%20des%20Prairies%20%E2%80%93%20Rapport%20sur%20les%20perspectives%20r%C3%A9gionales.pdf>
- Savard, J.– P., D. van Proosdij et S. O'Carroll (2016). Perspectives pour la région côtière de l'Est du Canada. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pages 99 à 152). Gouvernement du Canada. https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Chapitre4_RegionEst.pdf
- Schimelpfenig, D., Cooper, D. et Chimner, R. (2014). Effectiveness of ditch blockage for restoring hydrologic and soil processes in mountain peatlands. *Restoration Ecology*. 22:257–265.
- Sécurité publique Canada (2019). *Stratégie de sécurité civile pour le Canada : Vers un 2030 marqué par la résilience*. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/mrgncy-mngmnt-strtgyl/index-fr.aspx#:~:text=La%20Strat%C3%A9gie%20de%20SC%20appuie,la%20SC%20et%20la%20RRC>



- Sécurité publique Canada. (2020a). *Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC)*. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/rcvr-dsstrs/dsstr-fnncl-ssstnc-rrngmnts/index-fr.aspx>
- Sécurité publique Canada. (2020b). *Groupe de travail sur l'assurance contre les inondations et la réinstallation*. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dsstr-prvntn-mtgtn/tsk-frc-fld-fr.aspx>
- Sécurité publique Canada. (2021). *Programme national d'atténuation des catastrophes (PNAC)*. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dsstr-prvntn-mtgtn/ndmp/index-fr.aspx>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C., Smith, A. et Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstb.2019.0120>
- Solaun, K. et Cerda, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119306239>
- Sommet pour l'adaptation aux changements climatiques. (2021). *Nature-based solutions call to action*. Sommet pour l'adaptation aux changements climatiques 2021. 25 et 26 janvier. <https://www.cas2021.com/about-cas2021/documents/publications/2021/01/24/nbs-action-track-outcomes-and-call-to-action>
- Statistique Canada. (2016). *Enquête sur la consommation d'énergie des secteurs commercial et institutionnel, 2014*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/160916/dq160916c-fra.htm>
- Statistique Canada. (2020). *Permis de bâtir : Décembre 2019*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/200210/dq200210a-fra.htm>
- Statistique Canada. (2021). *Centre de statistiques sur l'infrastructure*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/2018013/ic2-fra.htm>
- Swanson, D. A. et Bhadwal, S. (Éds.). (2009). *Creating adaptive policies: A guide for policy-making in an uncertain world*. CRDI et Sage. <https://www.iisd.org/publications/creating-adaptive-policies-guide-policy-making-uncertain-world>
- Szilder, K., D'Auteuil, A., McTavish, S. (à paraître). *Predicting ice accretion from freezing rain on bridge stay cables*. *Cold Regions Science and Technology*.
- Temmer, J. et Venema, H. (2017). *Bâtir une ville résiliente au climat : Infrastructure de transport*. <http://prairieclimatecentre.ca/wp-content/uploads/2017/04/pcc-brief-climate-resilient-city-transportation-infrastructure.pdf>
- The Nature Conservancy Washington. (2020). *What is green stormwater infrastructure?* <https://www.washingtonnature.org/cities/stormwater/green-infrastructure-infographic>



- Transports Canada. (2016). *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*. <https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/ClimatRisk-F-ACCESSIBLE.pdf>
- Transports Canada. (2019). *Document d'information sur le système portuaire canadien*. <https://tc.canada.ca/fr/marine/document-information-systeme-portuaire-canadien>
- Transports Canada. (2020). *Stratégie ministérielle de développement durable de 2020 à 2023*. <https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/transparence/developpement-durable-transport-canada/strategie-ministerielle-developpement-durable-2020-2023>
- Tsui, E. (2021). *Reducing the individual costs of permafrost thaw damage in Canada's Arctic*. The Arctic Institute: Center for Circumpolar Security Studies. <https://www.thearcticinstitute.org/reducing-individual-costs-permafrost-thaw-damage-canada-arctic/>
- Tutton, M. (7 avril 2019). "This is a wake-up call:" Swift action needed on rising seas, experts say. CBC News. <https://www.cbc.ca/news/canada/nova-scotia/climate-change-report-rising-sea-levels-atlantic-canada-1.508099>
- United Kingdom National Infrastructure Commission (NIC). (2020). *Anticipate, react, recover: Resilient infrastructure systems*. <https://nic.org.uk/app/uploads/Anticipate-React-Recover-28-May-2020.pdf>
- United States Army Corps of Engineers (2021). *Engineering with nature*. United States Army Corps of Engineers. <https://ewn.el.erdc.dren.mil/about.html>
- United States Army Corps of Engineers (USACE). (2013). *Coastal risk reduction and resilience: Using the full array of measures*. https://ewn.el.erdc.dren.mil/nmbf/other/2_USACE_CW-Coastal_Risk_Reduction_and_Resilience.pdf
- United States Army Corps of Engineers. (2015). *Coastal resilience through built and natural solutions*. https://ewn.el.erdc.dren.mil/nmbf/other/5_ERDC-NNBF_Brochure.pdf
- United States Climate Resilience Toolkit. (2016). *Buildings and structures*. <https://toolkit.climate.gov/topics/built-environment/buildings-and-structures>
- United States Department of Agriculture. (2011). *Fuel and fire breaks: Small scale solutions for your farm*. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1167385.pdf
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020a). *Addressing water system resiliency with the drinking water state revolving fund*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-11/documents/addressing_resiliency_with_the_dwsrf_november_2020.pdf
- United States Environmental Protection Agency. (2020b). *How the drinking water state revolving fund works*. <https://www.epa.gov/dwsrf/how-drinking-water-state-revolving-fund-works#tab-1>
- United States Environmental Protection Agency. (2021). *Climate impacts on water utilities and adaptation actions*. Climate Change Adaptation Resource Center. <https://www.epa.gov/arc-x/climate-impacts-water-utilities>



- Université de Colombie-Britannique, Health & Community Design Lab. (2019). *Where matters: Health & economic impacts of where we live*. <http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/WhereMatter-POLICYBRIEF.pdf>
- Vadeboncoeur, N. (2016). Perspectives relatives à la région de la côte Ouest du Canada. Dans D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (Éds.), *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat* (pages 209 à 256). Gouvernement du Canada. https://www.rncan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/files/pdf/NRCAN_fullBook_f_WEB-72dpi.pdf
- Van Proosdij, D., MacIsaac, B., Christian, M., Poirier, E. et Leys, V. (2016). *Adapting to climate change in coastal communities of the Atlantic provinces, Canada: Land use planning and engineering and natural approaches Part 1*. <https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%3A786>
- Venema, H. (2017). *Eight ways cities are building climate resilience*. <https://www.iisd.org/articles/building-a-climate-resilient-city>
- Venema, H. et Temmer, J. (2017a). *Bâtir une ville résiliente au climat : Electricity and information and communication technology infrastructure*. <http://prairieclimatecentre.ca/wp-content/uploads/2017/04/pcc-brief-climate-resilient-city-electricity-ict.pdf>
- Venema, H., et Temmer, J. (2017b). *Bâtir une ville résiliente au climat : Water supply and sanitation systems*. <http://prairieclimatecentre.ca/wp-content/uploads/2017/04/pcc-brief-climate-resilient-city-water-supply-sanitation.pdf>
- Vogel, B. (2015). *Adapting to climate change: The case of multi-level governance and municipal adaptation planning in Nova Scotia, Canada*. Dépôt électronique des thèses et des dissertations. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/3674>
- Waterfront Toronto. (2021a). *Corktown Common*. <https://waterfrontoronto.ca/nbe/portal/waterfront/Home/waterfronthome/projects/corktown+common>
- Waterfront Toronto. (2021b). *Green building requirements*. Version 3.0. <https://waterfrontoronto.ca/nbe/wcm/connect/waterfront/db7b12c6-3155-4f55-a545-9ae0f24869f2/Waterfront+Toronto+Green+Building+Requirements+%28GBR%29+Version+3.0+-+January+2021.pdf?MOD=AJPERES>
- Zerbe, J. (2019). *Update: Paying for urban infrastructure in Canada: Current and emerging economic instruments for local government*. <https://act-adapt.org/wp-content/uploads/2020/04/ACT-Update-Paying-for-Urban-Infrastructure.pdf>
- Zuzek, P.J. (2020a). *Adapting to the future storm and ice regime in Great Lakes Stream 1 Report*. https://zuzekinc.ca/adaptation/Reports/AP659_Stream1Report_2019_05_01.pdf
- Zuzek, P.J. (2020b). *Adapting to the future storm and ice regime in the Great Lakes Stream 2 Report*. https://zuzekinc.ca/adaptation/Reports/AP659_Stream2Report_2020_07_16.pdf



Annexe 1. L'infrastructure des systèmes de transports terrestre : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience

Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Tous les dangers climatiques et les impacts connexes		<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Évaluation des risques climatiques (c.-à-d. à l'aide de la norme ISO 31000, du protocole du CVIIP ou de l'équivalent et de la norme ISO 14091) et d'autres considérations relatives à l'adaptation au climat (y compris les directives de la norme ISO 14090, ISO 14092) Utilisation de normes, de codes et de guides améliorés Utilisation de la plupart des données climatiques à jour et des projections futures sur les changements climatiques dans la conception <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Surveillance et entretien plus fréquents et améliorés
Évolution des régimes de précipitations ^{1,2,3,6,7}	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de l'intégrité structurale et/ou détérioration accélérée (affouillement du pont) Vieillesse prématuré Structures inondées Risque accru d'événements critiques (emportement de routes, bris de ponts, glissements de terrain affectant les routes, les ponts et les chemins de fer, encrassement du ballast de la voie) Fermeture de routes en raison d'un plus grand nombre d'accidents de la route (surtout en cas de pluie verglaçante) Augmentation de l'accumulation de glace sur les ponts à haubans 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Stratégies propres aux chemins de fer : cartographie des glissements de terrain – évaluation géotechnique temporelle et spatiale des pentes; inspections des rails Accès routier saisonnier restreint pour les camions lourds (pour éviter d'endommager les routes pendant le dégel printanier) <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Amélioration des routes, des ponts et des voies ferrées Augmentation de la capacité des ponceaux Redirection des cours d'eau Construction de ponts plus imposants, capables de résister aux fortes précipitations Pavage des routes en gravier pour réduire les risques d'érosion Utilisation d'une couche supérieure de matériau d'hydrofugation pour les pistes Installation d'électricité de secours dans les installations d'entretien ferroviaire Installation de pistes rainurées pour minimiser l'aquaplanage lors de l'atterrissage des avions Construction de jardins pluviaux et de bassins de rétention <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Installation de dispositifs pour surveiller les affouillements de ponts



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Ondes de tempête, marées plus élevées, niveau de la mer, vents forts ^{1,2,8}	<ul style="list-style-type: none"> • La capacité des ponts et des réseaux d'égouts pluviaux est plus fréquemment dépassée, ce qui entraîne des dommages à la route et aux pistes, des effondrements de pont et/ou des inondations du passage inférieur. • Ponts-jetées, ponts et routes basses inondés ou endommagés • Érosion des estuaires et des côtes • Structures endommagées ou inondées • Durée de vie réduite des infrastructures • Dommages causés par le vent aux infrastructures, y compris aux feux de circulation • Vents violents causant la chute d'arbres et d'autres débris qui bloquent les routes, les ponts et les chemins de fer, en plus de causer des pannes d'électricité • Vents violents entraînant des objets étrangers sur la piste et les voies de circulation, présentant un danger pour les aéronefs • Embâcles intérieurs causant des dommages aux ponts (routes et chemins de fer) 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Élaboration d'itinéraires de rechange <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construction d'enrochement et de digues • Amélioration des routes, des ponts et des voies ferrées • Plantation de rangées d'arbres (différentes variétés) à côté des routes pour créer une « barrière à neige vivante » afin de réduire les impacts du vent (poudrière et cisaillement du vent) • Remplacement des accotements en gravier par des tapis en béton articulé <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Installation de dispositifs pour surveiller les affouillements de ponts
Chaleur extrême ^{1,2,4}	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrité de l'asphalte compromise • Espérance de vie réduite des autoroutes, des routes et des chemins de fer • Augmentation des feux de forêt qui pourraient endommager les infrastructures • Dilatation des rails (flambage dû à la chaleur) • Graves fissures des routes dues au dessèchement des sols argileux • Ramollissement, orniérage, lessivage rapide et exsudation de la chaussée • Dilatation thermique des joints du pont (« sauts ») entraînant la fermeture du pont 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de données (station météorologique et débit de circulation) pour déterminer les matériaux de chaussée appropriés à des endroits précis sur la route • Utilisation de données (station météorologique et débit de circulation) pour déterminer les limitations de vitesse, de wagons plus petits et d'une charge réduite pour les transporteurs ferroviaires <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de mélanges de chaussée tolérants à la chaleur pour les routes et les pistes • Utilisation de revêtements de rails à faible absorption solaire • Allongement des pistes pour permettre aux avions de ralentir plus longtemps à l'atterrissage en raison de la diminution de la densité de l'air



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Augmentation des températures saisonnières (dégradation du pergélisol) et augmentation des cycles de gel-dégel^{1,2,4,5}</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ tassement du sol • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ Augmentation de la fréquence, de la durée et de la gravité des fissures thermiques, des ornières et du gel • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ Soulèvement et ramollissement dû au gel et au dégel • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ L'affaissement et le gauchissement du sol peuvent endommager les fondations des routes et des pistes et/ ou la plateforme des voies ferrées • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ Raccourcissement de la saison des routes d'hiver et problèmes de drainage ayant une incidence sur l'intégrité structurale • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ Durée de vie réduite des infrastructures • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ Bris des remblais routiers • Instabilité du sol et des pentes et mouvement/ Capacité de charge réduite 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redirection du trafic • Planification de l'aménagement du territoire et des transports • Conception de nouvelles infrastructures • Gestion des actifs et évaluation des risques • Planification des interventions en cas d'urgence • Meilleure communication des renseignements • Cartographie du pergélisol • Évaluation du type de sol <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Épaississement de la digue • Installation de géotextiles • Installation de bermes • Utilisation de mélanges de béton hautement durables et imperméables pour les tabliers de pont et les murets/barrières • Utilisation de matériaux de remblai qui augmentent la convection de l'air • Installation de thermosiphons ou d'autres mesures pour éliminer la chaleur • Installation de hangars solaires ou d'autres mesures pour prévenir l'absorption de la chaleur • Élargissement des accotements • Utilisation de talus peu profonds • Amélioration du drainage – ponceaux plus gros et/ou enlèvement des débris; réacheminement de l'eau du pied du remblai • Utilisation de surfaces à albédo élevé • Dégel induit <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance de l'état du sous-sol (p. ex. températures au sol) • Enlèvement de la neige • Adoption de calendriers de maintenance plus précoces et plus fréquents

Sources : ¹Transport Canada, 2016; ²Bush et Lemmen, 2019; ³ECCE, 2016; ⁴ECCE, 2020; ⁵Melillo et coll., 2014; ⁶D'Auteuil et coll., 2018; ⁷Szilder et coll., 2021; ⁸Engineers and Geoscientists British Columbia, 2020.



Annexe 2. Bâtiments : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience

Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Tous les dangers climatiques et les impacts connexes ^{authors, 1, 2}		<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilisation de normes, de codes et de guides améliorés Utilisation de la plupart des données climatiques à jour et des projections futures de conception et de construction Évaluations des risques climatiques et de la vulnérabilité afin d'éclairer la conception de nouveaux bâtiments, la planification de la gestion des actifs et les procédures opérationnelles pour les bâtiments existants Élaboration de cartes des dangers pour différents types de produits de construction qui fourniront des renseignements sur le risque accru de dégradation évalué en fonction des conditions climatiques locales Recherche et échange d'information/sensibilisation pour appuyer la prise de décisions <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Analyse et enquête de mise en service qui tiennent compte de la résilience climatique
Dégradation du pergélisol ^{3,4,5,6,7,8,9,3,4}	<ul style="list-style-type: none"> L'affaissement et le gauchissement peuvent endommager les fondations et entraîner la fissuration des murs, ce qui nuit à l'intégrité des bâtiments Perte de résistance dans les bâtiments menant à des maisons et des bâtiments instables, qui peuvent devenir inhabitables Effondrement des bâtiments 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilisation de normes, de codes et de guides améliorés : Association canadienne de normalisation (CSA) S500, CSA S501, CSA Plus 4011, CSA Plus 4011.1, Bureau de normalisation du Québec (BNQ) 2501-500, BNQ 9701-500 Recherche et partage des connaissances : dégel du pergélisol, nouvelles conceptions techniques pour les fondations et les bâtiments, etc. Veiller à ce que les nouveaux bâtiments soient construits dans les zones où une cartographie importante du pergélisol a été effectuée Préservation ou adaptation du dégel du pergélisol pendant la construction et la durée de vie de la structure, ou pour induire un dégel complet ou partiel, le drainage et la consolidation des sols avant la construction <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Protection des bâtiments existants, y compris l'amélioration de la ventilation sous les bâtiments et l'ajustement des structures existantes (comme le remplacement des poteaux en bois par des poteaux en acier ajustables) Réduction de la vulnérabilité des bâtiments existants par le renforcement des fondations Fondations à structure améliorée, fondations ajustées et peuvent comprendre des systèmes d'aération, des couches de gravier, des matériaux à changement de phase, des couches d'isolation, des sources de chaleur, des thermopiles passifs ou actifs, des thermosiphons, des systèmes de congélation et des systèmes de drainage



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
(a continué) Dégradation du pergélisol ^{3,4,5,6,7,8,9,3,4}		<ul style="list-style-type: none"> • Adoption de pratiques exemplaires de conception des fondations, y compris des semelles de béton sur le substrat rocheux ou des pieux ancrés • Relocalisation des bâtiments dans des zones où le sol est stable • Remplacement ou destruction d'immeubles inhabitables Surveillance et entretien <ul style="list-style-type: none"> • Aide financière aux propriétaires à revenu faible ou modeste pour l'entretien préventif, les réparations et les rénovations
Augmentation des températures saisonnières entraînant un changement des cycles gel-dégel ^{1,2,10,11}	<ul style="list-style-type: none"> • Carbonation et corrosion du béton – les changements de température et d'humidité relative accéléreront les processus de dégradation et causeront une diminution de la fonctionnalité et de la durabilité et peut-être de la sécurité de l'infrastructure en béton armé • Dommages aux fondations et aux bâtiments causés par les changements dans le gel-dégel et le séchage des sols • Dégradation par le gel/détérioration des matériaux de maçonnerie poreux (précipitations avant le gel) 	Planification <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de normes et de guides améliorés tels que la ligne directrice S478:19 de la CSA Structure <ul style="list-style-type: none"> • Choisir des granulats de mélange de béton qui donnent de meilleurs résultats dans les cycles de gel-dégel • Assurer un drainage adéquat autour des fondations Surveillance et entretien <ul style="list-style-type: none"> • Gérer les changements graduels de température au moyen de cycles d'entretien et de mise à niveau réguliers ou d'ajustements aux politiques et procédures d'exploitation et d'entretien
Chaleur extrême, vagues de chaleur ^{1,2,11,12,13}	<ul style="list-style-type: none"> • Le réchauffement et l'humidification peuvent réduire la durée de vie utile des éléments de construction en bois (p. ex. formation de moisissures, dommages liés à l'humidité) • Vieillesse thermique : vieillissement accéléré des éléments de couverture et de revêtement, des éléments isolés en verre, des éléments de fenestration en plastique, des membranes d'imperméabilisation et de revêtement à base de polymères, des produits de jointoiement et de scellement, et des peintures et couches pour le revêtement • Surchauffe dans les bâtiments – augmentation de la température de l'air intérieur et dépendance aux systèmes de climatisation • Augmentation des feux de forêt qui pourraient endommager les bâtiments 	Planification <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de normes et de guides améliorés tels que la norme CSA S504 – Planification de bâtiments et matériaux résistants aux incendies pour les collectivités du Nord • Utilisation de normes et de guides améliorés tels que la norme CSA S504 – Planification de Évaluations pour déterminer les vagues de chaleur locales et le risque de température extrême et déterminer les secteurs potentiellement préoccupants Structure <ul style="list-style-type: none"> • Installation de solutions d'infrastructure verte (p. ex. toits et murs verts, arbres d'ombre) • Conception du bâtiment qui comprend des stratégies de refroidissement (p. ex. conception passive du bâtiment, climatisation, ventilation améliorée, rendement thermique amélioré des fenêtres, isolation, etc.) en fonction des projections climatiques futures • Rénovation avec des matériaux ignifuges pour les toitures, les parements, les fenêtres, etc. • Modernisation avec isolation appropriée des murs et du toit pour réduire la pénétration de la chaleur • Installation de matériaux thermoréfléchissants (à albédo élevé) pour le toit et les façades des bâtiments



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Évolution des régimes de précipitations^{2,10,11,12,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24}</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Risque accru de structures/sous-sols inondés qui peuvent causer des dommages matériels, des dommages à l'équipement essentiel • Effondrement des toits causé par des charges de neige plus lourdes • Risque accru d'infiltration d'eau et de problèmes d'humidité; les fuites peuvent causer des dommages à l'eau et de la moisissure (par l'accumulation d'eau sur les toits, la neige et la fonte des glaces sur les toits) • Augmentation de l'altération des matériaux entraînant une augmentation de la vitesse et de la gravité de la dégradation du tissu du bâtiment • Vieillesse prématurée : vieillissement accéléré des éléments de couverture et de revêtement, des éléments isolés en verre, des éléments de fenestration en plastique, des membranes d'imperméabilisation et de revêtement à base de polymères, des produits de jointoiement et de scellement, et des peintures et couches pour le revêtement • L'augmentation du mouillage augmente la corrosion de l'acier armé dans le béton exposé et la détérioration du béton et des matériaux de maçonnerie 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de normes et de codes améliorés comme la norme CSA S502-14 Gestion des risques liés aux charges neigeuses sur les infrastructures du Grand Nord canadien³⁴; et les Lignes directrices Z800-19 du Groupe CSA sur la protection des sous-sols contre les inondations et la réduction des risques.¹⁷ • Mesures de résilience climatique et conseils pour les intervenants du bâtiment, comme des conseils pour la conception d'immeubles résilients au climat, comme les <i>Climate Resilience Guidelines for BC Health Facility Planning and Design</i>, et des outils d'aide à la décision, comme le protocole du CVIIP • Renforcement des capacités et formation pour les propriétaires fonciers, les inspecteurs de maisons et les professionnels des services de construction, comme le Programme de protection des habitations contre les inondations • Divulguation des risques d'inondation et cartographie des inondations • Désignation des zones où la reconstruction ou les réparations majeures ne sont pas autorisées, ainsi que des zones sans construction (p. ex. plaines inondables) • Prestation d'un soutien financier (comme des rachats) pour se déplacer vers des zones plus sûres/retrait des subventions gouvernementales pour le remboursement des dommages causés par les inondations • Élaboration et promotion des programmes d'assurance incitant les propriétaires à adopter des pratiques d'adaptation • Promotion des produits de prêt et de prêt hypothécaire adaptatifs qui encouragent les investissements à long terme qui augmentent la résilience climatique globale des bâtiments <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise à niveau prioritaire des structures « à risque » les plus vulnérables selon une norme plus élevée • Pratiques exemplaires pour prévenir les inondations dans les bâtiments, comme l'installation de vannes de refoulement des eaux et de pompes de puisard; élever les systèmes électriques, de communication et d'élimination des déchets au-dessus des niveaux d'inondation prévus ou à l'abri des inondations; et infrastructure verte, comme les jardins-terrasses et les systèmes de collecte des eaux de pluie; et du relief de protection contre les inondations <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gérer les changements graduels de précipitation au moyen de cycles d'entretien et de mise à niveau réguliers ou d'ajustements aux politiques et procédures d'exploitation et d'entretien



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Ondes de tempête, marées plus élevées, variation du niveau de la mer^{2,25,26,27,28,29}</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux bâtiments et destruction de ceux-ci • L'érosion et l'érosion du sol autour des fondations compromettent l'intégrité des fondations des bâtiments • Structures/sous-sols inondés • Augmentation de la corrosion des métaux causée par l'humidité de surface et l'accumulation de sel • Détérioration du béton 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quatre catégories d'adaptation côtière : aucune intervention active, mesures d'adaptation, protection (mesures dures et douces) et évitement ou retrait • Planification côtière intelligente et conseils sur les dangers pour éclairer l'aménagement et la conception (p. ex. prévenir la construction de nouveaux bâtiments dans les zones dangereuses et promouvoir la construction de bâtiments dans les zones moins vulnérables) • Recherche et échange d'information/sensibilisation pour appuyer la prise de décisions dans les collectivités côtières • Programmes d'indemnisation pour les propriétés non habitables • Assurance contre les dommages anticipés <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mesures de protection partielle et totale contre les inondations pour certains bâtiments • Composants en métal résistant mieux à la corrosion après avoir été mouillés • Structures de protection/digues/ouvrages de protection contre les inondations <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance et cartographie de l'érosion côtière et des risques d'inondation • Programmes de remise pour encourager les changements visant à protéger les bâtiments ou à les éloigner de la côte



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Conditions changeantes du vent, pression de la pluie chassée par le vent, ouragans, tornades 2,5,11,30,31,32,33</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les vents violents peuvent entraîner la perte du revêtement du toit, ce qui permet à la pluie d'entrer dans le bâtiment, ainsi que le desserrage du solin de périmètre du toit, ce qui entraîne un détachement du toit • Les vents violents et la poudrierie causent des dommages aux bâtiments du Nord • Les débris emportés par le vent peuvent briser les fenêtres et endommager l'extérieur et les façades • L'altération accrue des matériaux à l'extérieur du bâtiment entraîne leur dégradation • Les joints d'étanchéité des portes d'entrée et des fenêtres peuvent être insuffisants pour résister à la pluie causée par le vent • L'accumulation d'humidité dans les façades des bâtiments causée par la pluie chassée par le vent et l'entrée d'eau dans les joints, les fissures ou les surfaces extérieures poreuses endommagent les enveloppes des bâtiments • Destruction et défaillance catastrophique des bâtiments 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normes et guides améliorés : Norme CSA S505 • Utilisation d'outils d'évaluation (p. ex. protocole du CVIIP) • Tenir compte de la pression du vent et des effets de la soufflerie lors de la localisation et de la conception des bâtiments • Assurance contre les dommages anticipés <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mesures de prévention comprennent des courroies de toit renforcées et des attaches supplémentaires, du verre résistant aux chocs et des enceintes de bâtiment résistantes à la pluie chassée par le vent pour empêcher l'humidité de pénétrer dans l'assemblage du bâtiment, comme les membranes de revêtement • Composants en métal résistant mieux à la corrosion après avoir été mouillés

Sources: ¹BOMA, 2019; ²Lacasse, et coll., 2020; ³Baraniuk, 2021; ⁴Bush et Lemmen, 2019; ⁵Feltmate, et coll., 2020; ⁶Gouvernement du Nunavut, 2013; ⁷Harries, 2018; ⁸Conseil canadien des normes, 2021; ⁹Tsui, 2021; ¹⁰Andrey et coll., 2014; ¹¹CCN, 2019; ¹²GRG Building Consultants, 2012; ¹³RDH Building Science, 2020; ¹⁴Chopik, 2019; ¹⁵Credit Valley Conservation, 2013; ¹⁶Groupe CSA, 2018; ¹⁷Energy & Environmental Sustainability et Integral Group, 2020; ¹⁸IPSC et CRI, 2021; ¹⁹Centre Intact d'adaptation au climat, 2021; ²⁰Mercer Clarke et Clarke, 2018; ²¹Moudrak et Feltmate, 2019; ²²Phillipson et coll., 2016; ²³Rajovich et Okour, 2019; ²⁴Waterfront Toronto, 2021a et 2021b; ²⁵Auld, 2019; ²⁶Mercer Clarke, et coll., 2016; ²⁷New Jersey Climate Adaptation Alliance, 2014; ²⁸Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador, s.d.; ²⁹Tutton, 2019; ³⁰Cannon, et coll., 2021; ³¹Kopp, 2015; ³²Sandink, et coll., 2019; ³³U.S. Climate Resilience Toolkit, 2016; ³⁴Groupe CSA, 2019c.



Annexe 3. L'infrastructure d'approvisionnement en eau : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience

Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Tous les dangers climatiques et les impacts connexes		<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Évaluation des risques climatiques (c.-à-d. à l'aide de la norme ISO 31000, du protocole du CVIIP ou de l'équivalent et de la norme ISO 14091) et d'autres considérations relatives à l'adaptation au climat (y compris les directives de la norme ISO 14090, ISO 14092) Utilisation de normes, de codes et de guides améliorés Utilisation de la plupart des données climatiques à jour et des projections futures sur les changements climatiques dans la conception Intégration des risques liés aux changements climatiques dans les plans d'amélioration des actifs <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Surveillance accrue et plus fréquente des installations et des efforts d'entretien Surveillance des inondations et des facteurs associés
Évolution des régimes de précipitations (précipitations extrêmes) ^{1,2,5,6,7,8,10}	<ul style="list-style-type: none"> Inondation de l'infrastructure de la station de traitement Réduction de l'intégrité structurale et/ou détérioration accélérée et érosion des barrages Effets sur la qualité de l'eau de l'augmentation du ruissellement, de l'érosion et des inondations Pannes de courant dues aux tempêtes 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Utiliser des cartes à jour des plaines inondables pour localiser les nouvelles installations à l'extérieur des zones inondables à risque élevé Potential de modélisation spatiale de l'étendue des inondations en fonction des projections sur les changements climatiques Relocaliser les infrastructures dans les zones inondables à faible risque Planifier et développer une source d'alimentation de recharge et redondante Gestion intégrée des bassins versants et solutions d'infrastructure naturelle pour gérer l'excès d'eau et les inondations, y compris l'acquisition et la gestion des écosystèmes Élaborer des modèles pour comprendre les changements de la qualité de l'eau Accroître les capacités de traitement <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Voir la section 3.2.2 sur les options d'adaptation des bâtiments aux précipitations extrêmes Construire des barrières contre les inondations pour protéger les infrastructures contre les inondations Rigoles de drainage biologique, marais artificiels, jardins pluviaux et systèmes de biorétention Adapter la structure des barrages, des déversoirs et des canaux de drainage <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Déclassement des barrages à risque Surveillance des inondations et des facteurs associés



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Ondes de tempête, marées plus élevées, niveau de la mer 1,5,6,7,8,10</p>	<ul style="list-style-type: none"> Inondation de l'infrastructure de la station de traitement en raison du dépassement de la capacité des ponceaux et des égouts pluviaux Intrusion d'eau salée dans les aquifères 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Prise en compte des solutions d'infrastructure naturelle Déplacer les installations à des altitudes plus élevées Effectuer la modélisation de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête Modifier l'utilisation des terres en étudiant la résilience des systèmes de terres humides côtiers et intérieurs à proximité aux ondes de tempête <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Installer des soupapes de secours et des pompes à eau ainsi qu'une alimentation électrique de secours Conservation/restauration des terres humides et des zones tampons riveraines Concevoir des lignes directrices qui assurent une capacité de drainage efficace et une protection contre l'érosion Élargir les ouvrages de protection, les digues, les murs de protection contre les crues, les barrières de protection contre les grosses vagues, etc. Protection intégrée contre les inondations (p. ex. bermes en terrasse, culées de pont, améliorations du drainage, cloisons, remblayage des plages, dunes renforcées, brise-lames au large, rivages vivants) Installation d'un barrage à faible hauteur dans les estuaires littoraux pour séparer le bassin d'eau salée et d'eau douce Mettre en œuvre l'intrusion d'eau salée dans les sources d'eau souterraine par injection d'eau douce dans les aquifères <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Établir des politiques et des procédures pour les réparations après inondation
<p>Dégradation du pergéliso^{1,3,4,7}</p>	<ul style="list-style-type: none"> Rupture des conduites d'eau potable et d'égouts Infiltration potentielle provenant du stockage des égouts Défaillance des barrages à noyau gelé sur les bassins de décantation en raison d'un tassement différentiel Instabilité du sol et mouvement/tassement du sol (paysages plus secs) 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Tenir compte de l'instabilité du sol dans la conception des nouvelles infrastructures Construire des infrastructures temporaires qui peuvent être facilement relocalisées <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilisation d'isolant en polystyrène sous les routes pour réduire au minimum les perturbations dans les environnements sensibles au dégel <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Surveillance et modélisation du dégel du pergélisol



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Évolution des régimes de précipitations (sécheresse, réduction du manteau neigeux) 1,2,3,5,6,7,8,9,10	<ul style="list-style-type: none"> • Demande accrue en eau et pression sur l'infrastructure • Réduction des sources d'eau potable • Problèmes de répartition de l'eau • Augmentation des problèmes de qualité de l'eau • Risque accru d'inondation (barrages de terre fissurés en raison de la sécheresse, de l'affaissement et de l'érosion) • Augmentation des charges entraînant des surcharges et le déclenchement du disjoncteur dans les stations de pompage 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gérer de façon intégrée des bassins versants, y compris la prise en compte des solutions d'infrastructure naturelle • Intégrer des techniques de prévision de la demande • Mettre en œuvre des programmes de gestion de la conservation de l'eau (réduire la consommation) et mettre à jour les plans d'urgence en cas de sécheresse • Diversifier les sources d'approvisionnement en eau et élargir les sources actuelles • Déployer des systèmes pour recycler l'eau • Déployer l'utilisation conjonctive des eaux de surface et souterraines • Établir des accords d'entraide avec les services publics voisins <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accroître la capacité de stockage et de rétention de l'eau (p. ex. citernes) • Rigoles de drainage biologique, marais artificiels, jardins pluviaux et systèmes de biorétention • Utiliser la recharge et le stockage des aquifères naturels et artificiels, y compris les bassins de percolation et les puits d'injection • Planter des forêts urbaines • Adapter la structure des barrages, des déversoirs et des canaux de drainage <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveiller l'état des eaux de surface et souterraines • Effectuer la modélisation des eaux souterraines et des eaux de surface pour comprendre les changements, y compris les proliférations d'algues • Surveiller les prises d'eau et les moderniser pour les adapter aux niveaux d'eau plus bas

Sources : ¹Bush et Lemmen, 2019; ²ECCC, 2016; ³ECCC, 2020; ⁴Melillo et coll., 2014; ⁵Clavet-Gaumont et coll., 2017; ⁶Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017; ⁷Lemmen et Warren, 2004; ⁸McClearn, 2020; ⁹Felio, 2015; ¹⁰EPA, 2021.



Annexe 4. L'infrastructure de traitement des eaux usées et des eaux pluviales : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience

Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Tous les risques liés aux changements climatiques		<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consulter la norme CSA S900.1-2018 sur l'adaptation aux changements climatiques pour les stations d'épuration • Évaluation des risques climatiques (c.-à-d. à l'aide de la norme ISO 31000, du protocole du CVIIP ou de l'équivalent et de la norme ISO 14091) et d'autres considérations relatives à l'adaptation au climat (y compris les directives de la norme ISO 14090, ISO 14092) • Utilisation de la plupart des données climatiques à jour et des projections futures sur les changements climatiques dans la conception • Prise en compte des solutions d'infrastructure naturelle <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance et entretien plus fréquents et améliorés
Ondes de tempête, marées plus élevées, niveaux de la mer ^{1,2,5,6}	<ul style="list-style-type: none"> • La capacité des ponceaux et des réseaux d'égouts pluviaux est plus fréquemment dépassée • Structures endommagées ou inondées qui réduisent l'efficacité du traitement • Nécessité d'accroître les exigences de pompage pour les installations en raison de l'élévation du niveau de la mer • Intrusion d'eau salée qui endommage les usines de traitement et infiltre les conduites d'égout • Répercussions possibles sur la solidité des installations de traitement des eaux usées qui sont habituellement construites à faible élévation pour tirer parti de la collecte des eaux usées par gravité • Enfouissement des surfaces terrestres • Bâtiments, réservoirs, équipement de traitement hébergé touchés par les inondations • Surtaxation des installations de drainage • Ruptures de pipeline 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concevoir des lignes directrices qui assurent une capacité de drainage efficace et une protection contre l'érosion <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vannes de secours, pompes à eau • Conservation/restauration des terres humides et des zones tampons riveraines • Augmentation de la taille des égouts pluviaux et des ponceaux afin de gérer un plus grand volume de ruissellement • Construire des ouvrages de protection, des digues, des murs de protection contre les crues, des barrières de protection contre les grosses vagues, etc. • Protection intégrée contre les inondations (p. ex. bermes en terrasse, améliorations du drainage, cloisons, remblayage des plages, dunes renforcées, brise-lames au large, rivages vivants) • Pomper les effluents à des altitudes plus élevées pour suivre l'élévation du niveau de la mer



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Évolution des régimes de précipitations (précipitations extrêmes et inondations) ^{1,2,5,6,7}	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'intégrité structurale et/ou détérioration accélérée des installations de traitement des eaux usées • Vieillissement prématuré • Structures inondées • Dépassement de la capacité de l'infrastructure de gestion des eaux pluviales • Les systèmes de drainage urbains pourraient tomber en panne, ce qui causerait des problèmes comme des refoulements d'égouts • Pannes de courant 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Passer de la gestion des débits de pointe au contrôle du volume de ruissellement • Séparer les égouts d'eaux usées et les égouts pluviaux • Mettre en œuvre des solutions d'infrastructure naturelle • Planifier et développer une source d'alimentation de recharge • Déplacer les installations à des altitudes plus élevées • Modéliser les épisodes de précipitations extrêmes et l'étendue spatiale des inondations en fonction des projections sur les changements climatiques • Intégrer la gestion des inondations dans la planification de l'utilisation des terres et intégrer les risques climatiques dans les plans d'amélioration des immobilisations <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rediriger et ralentir le ruissellement grâce à des rigoles de drainage biologique, marais artificiels, jardins pluviaux et systèmes de biorétention • Utiliser des digues internes dans les collectivités • Réduire les surfaces imperméables (réduire au minimum la largeur de la route, les parcs de stationnement) • Accroître la capacité des réseaux de collecte des eaux pluviales et des égouts (c.-à-d. ponceaux) • Augmenter la capacité et les possibilités des installations de traitement des eaux usées • Retenir les précipitations (captage et stockage de l'eau) des surfaces imperméables pour les traiter et les utiliser dans les milieux locaux • Planter des arbres et de la végétation • Améliorer l'état du sol pour maximiser l'infiltration et le stockage de l'eau • Surface dure verte (toits, aires de stationnement) • Réduire le débit entrant et l'infiltration dans les égouts sanitaires et les égouts unitaires <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dragage pour atténuer l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des pluies abondantes • Enlèvement plus fréquent des débris des réseaux de collecte des eaux pluviales (c.-à-d. ponceaux, grilles de prise d'eau) • Surveillance des inondations et des facteurs associés • Élaborer des politiques et des procédures pour les réparations après inondation



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Augmentation des températures saisonnières (dégradation du pergélisol) et augmentation des cycles de gel dégel ^{1,3,5,6,7}	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la fréquence, de la durée et de la gravité des fissures thermiques, des ornières, des soulèvements et du ramollissement dus au gel et au dégel • L'instabilité de l'affaissement du sol et les mouvements du sol peuvent endommager les fondations de l'installation de traitement • Rupture des conduites d'égout et des réservoirs de stockage des égouts • Infiltration potentielle provenant du stockage des égouts • De nouvelles structures de confinement dans la zone de pergélisol continu pourraient devoir être construites 	Planification <ul style="list-style-type: none"> • Planification des interventions en cas d'urgence • Meilleure communication des renseignements • Cartographie de la vulnérabilité du pergélisol • Évaluation du type de sol Structure <ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de matériaux à changement de phase pour réduire le nombre de cycles gel-dégel Surveillance et entretien <ul style="list-style-type: none"> • Enlèvement de la neige
Chaleur extrême et sécheresse ^{1,2,3,4,6,7}	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des feux de forêt qui pourraient endommager les infrastructures • Augmentation des feux de forêt qui pourraient endommager les infrastructures • Les courants à température plus élevée et la diminution du débit des cours d'eau influent sur la désinfection et la dilution des eaux usées 	Planification <ul style="list-style-type: none"> • Adopter des solutions d'infrastructure naturelle pour la prévention et la gestion des feux de forêt Structure <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des solutions d'infrastructure naturelle (toits verts, forêts urbaines) pour accroître la capacité d'assimilation des cours d'eau récepteurs • Installer des systèmes de refroidissement des effluents pour réduire la température des rejets d'eaux usées traitées • Amélioration des processus de traitement et/ou ajout de nouvelles technologies Surveillance et entretien <ul style="list-style-type: none"> • Surveiller l'état des eaux de surface

Sources : ¹Bush et Lemmen, 2019; ²ECCC, 2016; ³ECCC, 2020; ⁴Amec Foster Wheeler et Credit Valley Conservation, 2017; ⁵Mercer Clarke et Clarke, 2018; ⁶Melillo et coll., 2014; ⁷EPA, 2021.



Annexe 5. L'infrastructure maritime : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience

Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Tous les dangers climatiques et les impacts connexes		<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Évaluation des risques climatiques (c.-à-d. à l'aide de la norme ISO 31000, du protocole du CVIIP ou de l'équivalent et de la norme ISO 14091) et d'autres considérations relatives à l'adaptation au climat (y compris les directives de la norme ISO 14090, ISO 14092) Utilisation de normes, de codes et de guides améliorés Utilisation de la plupart des données climatiques à jour et des projections futures sur les changements climatiques dans la conception Surveillance et entretien plus fréquents et améliorés
<p>Augmentation des températures saisonnières entraînant la fonte du pergélisol et l'augmentation des cycles de gel-dégel^{1,2,3}</p>	<ul style="list-style-type: none"> Instabilité du sol et des pentes et mouvement/tassement du sol Augmentation de la fréquence, de la durée et de la gravité des fissures thermiques, des ornières et du gel Soulèvement et ramollissement dû au gel et au dégel 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Aménagement du territoire Nouvelle conception d'infrastructure adaptée aux environnements de pergélisol Intégrer l'adaptation à la planification de la gestion des actifs, y compris la réalisation d'une évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité Cartographie du pergélisol <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Épaississement de la digue Intégrer des pratiques exemplaires pour réduire au minimum les impacts sur les régimes thermiques du pergélisol (c.-à-d. limiter la perturbation du sol, excaver et installer des plateformes de gravier en automne, construire des remblais sur plusieurs années pour éviter de piéger la chaleur, rétablir les surfaces du terrain avant le gel pour éviter le soulèvement par le gel) Utiliser des mélanges de béton hautement durables et imperméables pour les tabliers de pont et les murets/barrières Améliorer le drainage – ponceaux plus gros et/ou enlèvement des débris <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Adoption de calendriers de maintenance plus précoces et plus fréquents



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Élévation du niveau de la mer, marées plus élevées, vents violents, changements de la glace de mer qui influent sur les ondes de tempête^{1,2,3}</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion du littoral • Inondation des ports et d'autres infrastructures côtières clés • Structures inondées et endommagées • Réduction de l'intégrité structurelle de l'infrastructure ayant une incidence sur la durée de vie • Dommages causés par le vent aux infrastructures • Augmentation des dommages causés par les vagues aux quais et aux autres structures d'amarrage • Sédimentation • Augmentation du trafic maritime dans les eaux arctiques en raison de la diminution de la glace de mer, ce qui crée une nouvelle demande pour les ports du Nord 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluer les risques qui tiennent compte de l'incidence accrue des changements climatiques (c.-à-d. Protocole du CVIIP) • Cartographier afin de cibler les zones côtières très vulnérables aux impacts de l'élévation du niveau de la mer • Élaborer des règlements (c.-à-d. règlements de zonage, normes d'aménagement, règlements sur l'utilisation des terres, fiducies foncières, etc.) pour limiter le développement de l'infrastructure maritime dans les zones vulnérables • Éloigner les nouvelles structures terrestres du littoral en tenant compte des projections d'érosion • Intégrer les considérations relatives aux inondations dans la conception des bâtiments et des infrastructures (c.-à-d. infrastructures surélevées, bâtiments flottants, protection partielle et totale des bâtiments contre l'inondation) • Intégrer les considérations relatives à la glace de mer dans la conception des quais • Intégrer la protection contre les inondations et le contrôle de l'érosion dans les codes de conception des bâtiments • Relocaliser l'infrastructure pour permettre un réajustement naturel des côtes ou une restauration active de l'habitat (c.-à-d. dunes, marais salés, végétation) • Prévision et planification de la demande pour le transport maritime et les installations portuaires dans l'Arctique <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construire des barrières physiques pour réduire ou protéger contre l'érosion (c.-à-d. les affleurements, les ouvrages de protection, les brise-lames, les murs de soutènement, les récifs artificiels, les digues) • Établir des barrières naturelles pour réduire les impacts de l'érosion (c.-à-d. dunes, rivages/ milieux humides vivants, remblayage des plages, plages perchées, stabilisation à l'aide de plantes) • Utilisation de structures physiques pour piéger les sédiments (c.-à-d. les épis) • Accueillir les eaux de crue en modifiant le paysage (c.-à-d. fossés de drainage, dragage, drains de falaise, étang de retenue, terres humides artificielles) • Utilisation de solutions naturelles pour agir comme tampons contre l'érosion et les inondations côtières (p. ex. marais salés) • Construction d'enrochement et de digues <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adoption de calendriers de maintenance plus précoces et plus fréquents



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Fluctuations du niveau des eaux intérieures ^{1,4}	<ul style="list-style-type: none"> • Les bas niveaux des eaux intérieures (particulièrement dans les Grands Lacs) peuvent réduire la capacité des navires et créer des difficultés de navigation • Les niveaux élevés des eaux intérieures peuvent aider à la navigation d'un volume plus élevé de marchandises, mais peuvent aussi entraîner des inondations et l'érosion des rives 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans les cas où des niveaux d'eau plus faibles affectent la navigabilité, les expéditeurs peuvent opter pour un transport sur route ou ferroviaire, modifier les procédures de navigation, ou investir dans des technologies d'augmentation du débit <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans les cas de niveaux d'eau plus élevés, les autorités maritimes peuvent construire des barrières physiques pour protéger les côtes contre l'érosion (c.-à-d. les affleurements, les ouvrages de protection, les brise-lames, les murs de soutènement, les récifs artificiels, les digues) <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accroître le dragage des chenaux

Sources : ¹Palko et Lemmen, 2017; ²Lemmen et coll., 2016; ³Greenan et coll., 2019; ⁴Zuzek, 2020a.



Annexe 6. L'infrastructure énergétique et des TIC : Les dangers liés aux changements climatiques, impacts possibles et options de résilience

Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Tous les risques liés aux changements climatiques		<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Évaluation des risques climatiques (c.-à-d. à l'aide de la norme ISO 31000, du protocole du CVIIP ou de l'équivalent et de la norme ISO 14091) et d'autres considérations relatives à l'adaptation au climat (y compris les directives de la norme ISO 14090, ISO 14092) Utilisation de la plupart des données climatiques à jour et des projections futures sur les changements climatiques dans la conception Tenir compte des parties I, II et III du Code canadien de l'électricité pour l'adaptation aux changements climatiques⁶ Intégrer les données sur le changement climatique dans la modélisation de la valorisation énergétique^{2,7} <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Surveillance et entretien plus fréquents et améliorés
Tempêtes hivernales, tempêtes de glace et tempêtes de vent à grande vitesse ^{1,3,5,6,8,9}	<ul style="list-style-type: none"> L'accumulation de glace peut causer des ruptures de lignes électriques, des bris ou des chutes de poteaux électriques La glace sur les pales des éoliennes peut nuire au rendement et à la durabilité Les vents peuvent faire tomber les poteaux électriques et les lignes de transmission Augmentation des contacts avec les arbres entraînant des dommages à l'infrastructure et des pannes de courant Blocage du déversoir du barrage en raison de matières en suspension Une augmentation de la saleté, de la poussière, de la neige, des particules atmosphériques et d'autres éléments diminuerait la production d'énergie des panneaux solaires Augmentation de la charge des vagues sur les installations pétrolières extracôtières 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> Installer des microréseaux pour permettre collectivités de se séparer des réseaux centraux qui ne leur conviennent pas et de se connecter à des sources secondaires <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> Enfouir les lignes de distribution Installer des dispositifs anti-galop sur les conducteurs et veiller à ce que la structure soit stable contre les vents forts <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> Installer des moniteurs visuels pour détecter la charge de glace; augmenter le courant avant la charge de glace pour faire fondre la glace Utilisation de la technologie du réseau intelligent pour déterminer l'emplacement précis de la défaillance ou de la défaillance à venir dans les lignes de distribution et assurer l'entretien à temps et/ou réduire le temps de réparation Gérer/couper les arbres autour des lignes de transmission Mettre en place une stratégie de déneigement des panneaux solaires, y compris tenir compte de l'espacement entre les panneaux, augmenter la tolérance à la charge et effectuer une rotation automatique pour s'assurer que le manteau neigeux est régulièrement enlevé



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
Évolution des régimes de précipitations (c. à-d. précipitations extrêmes, inondations terrestres et côtières) <small>1,4,6,8,9</small>	<ul style="list-style-type: none"> • Inondation de centrales de production d'énergie côtières, de sous-stations • Inondation des installations de raffinage et de traitement du pétrole • Dommages à l'infrastructure de soutien comme le cuivre et les câbles à fibre optique (utilisés dans les systèmes de TIC) • Les fluctuations du niveau d'eau et les sols plus secs peuvent accroître l'érosion interne des barrages de remblai • Problèmes de rendement des vannes de déversoir du barrage, comme l'abrasion causée par l'augmentation de la teneur en sédiments de l'eau, le blocage causé par les matières en suspension • Les changements dans l'irradiation solaire et la nébulosité influeraient sur la production d'énergie solaire; la grêle peut également endommager les panneaux photovoltaïques 	Planification <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des cartes à jour des plaines inondables pour localiser les nouvelles installations à l'extérieur des zones inondables à risque élevé Structure <ul style="list-style-type: none"> • Intégrer des caractéristiques de conception pour renforcer l'infrastructure côtière, extracôtière et sujette aux inondations • Modifier les déversoirs de service et/ou auxiliaires et les digues de barrage pour les adapter aux niveaux d'inondation prévus • Installer des systèmes de protection contre les débordements sur les remblais des digues • Renforcer toutes les infrastructures sujettes aux inondations, y compris les lignes de transmission et de distribution enfouies • Ajuster les critères de conception des lignes de transmission – augmenter la hauteur de la tour; utiliser des matériaux en acier inoxydable • Surélever les sous-stations et les composants de l'infrastructure électrique • Utilisation d'équipement résistant à l'eau salée pour prévenir les dommages causés par les inondations aux infrastructures côtières Surveillance et entretien <ul style="list-style-type: none"> • Réviser les calendriers d'entretien et de remplacement des actifs • Amélioration de la surveillance et de la gestion de la sécurité des barrages
Fonte du pergélisol et modification des cycles de gel/dégel ^{1,6,9}	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages accrus à l'infrastructure de transmission et de distribution, y compris les oléoducs et les gazoducs • Dommages au béton causés par l'expansion et la contraction de l'humidité causant des fissures et des dommages aux voûtes souterraines et aux chambres de câbles • Fondations de pylônes de transmission déplacées causant des dommages structuraux/des effondrements 	Planification <ul style="list-style-type: none"> • Modifier la conception structurale pour permettre l'ajustement des tours en cas de déplacement en raison du dégel du pergélisol
Feux de forêt ^{1,6,9}	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages et/ou destruction des lignes et des poteaux de transmission • Conducteurs recuits ou endommagés • Répercussions sur la structure des oléoducs et des gazoducs 	Structure <ul style="list-style-type: none"> • Enfouir le réseau électrique pour éviter les dommages à l'infrastructure causés par une chaleur extrême ou un incendie Surveillance et entretien <ul style="list-style-type: none"> • Garder les zones exposées au feu à l'écart des broussailles



Dangers climatiques	Impacts possibles	Exemples d'options de résilience
<p>Augmentations de température et vagues de chaleur 1,4,5,6,8,9</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'efficacité de la transmission et possible déclassement ou défaillance des transformateurs refroidis à l'air; affaissement dans le recuit des conducteurs aériens • Stress accru sur l'infrastructure du réseau de distribution • Les fluctuations de température peuvent entraîner des contraintes mécaniques supplémentaires sur les barrages en béton, y compris sur le rendement des vannes de déversoir • Les sols plus secs et les fluctuations du niveau de l'eau peuvent accroître l'érosion interne des barrages de remblai • Diminution de l'efficacité des panneaux solaires et des centrales thermiques • Surchauffe dans les centres de données, les échanges de données et les stations de base des TIC • L'augmentation des températures quotidiennes moyennes peut faire en sorte que l'emplacement et la densité des mâts pour la communication sans fil ne soient plus optimaux • Les centrales thermiques et nucléaires pourraient avoir besoin de plus d'eau pour le refroidissement • Perte d'accès à l'eau et capacité de refroidissement de pointe pour le raffinage et le traitement du pétrole et du gaz 	<p>Planification</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intégrer les scénarios climatiques aux prévisions de charge pour la demande future <p>Structure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmenter la capacité du système de refroidissement <p>Surveillance et entretien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entretien et remplacement des composants plus fréquents pour réduire les contraintes sur les réseaux de distribution • Amélioration de la surveillance et de la gestion de la sécurité des barrages

Sources : ¹ACE, 2016; ²Feltmate et coll., 2020; ³Hendel-Blackford et coll., 2017; ⁴Horrocks et coll. 2010; ⁵Solaun et Cerdá, 2019; ⁶Groupe CSA, 2019f; ⁷Fournier et coll., 2020; ⁸Fluixa-Sanmartin et coll., 2018; ⁹Association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement, 2013.

©2021 The International Institute for Sustainable Development
Publié par l'Institut international du développement durable

Siège

111 Lombard Avenue, Suite 325
Winnipeg, Manitoba
Canada R3B 0T4

Tel: +1 (204) 958-7700

Website: www.iisd.org

Twitter: [@IISD_news](https://twitter.com/IISD_news)



[iisd.org](http://www.iisd.org)