



## CHAPITRE 7

# Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation

RAPPORT SUR LES  
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement  
du Canada

Government  
of Canada

Canada



## Auteurs coordonnateurs principaux

Donald S. Lemmen, Ph. D.

Catherine Lafleur, Ph. D., Ressources naturelles Canada

## Auteurs principaux et collaborateurs

### Foresterie

Catherine Lafleur, Ph. D., Ressources naturelles Canada

James MacLellan, Ph. D., Université de Toronto

### Pêches

Denis Chabot, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Nancy Shackell, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Helen Gurney-Smith, Ph. D., Pêches et Océans Canada

Jackie King, Ph. D., Pêches et Océans Canada

### Agriculture

Jamie Hewitt, Agriculture et Agroalimentaire Canada

### Énergie

Marco Braun, Ph. D., Ouranos

### Exploitation minière

Bruno Bussière, Ph. D., Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Émilie Bresson, Ph. D., Polytechnique Montréal

### Transport

Irene Kulcsar, Transports Canada

Elizabeth Smalley, Transports Canada

Matt Osler, Ville de Surrey



### Tourisme

Daniel Scott, Ph. D., Université de Waterloo

Jackie Dawson, Ph. D., Université d'Ottawa

### Adaptation des entreprises

Jason Thistlethwaite, Ph. D., Université de Waterloo

## Citation recommandée

Lemmen, D., Lafleur, C., Chabot, D., Hewitt, J., Braun, M., Bussière, B., Kulcsar, I., Scott, D. et Thistlethwaite, J. (2021) : Impacts sur les secteurs et mesures d'adaptation; chapitre 7 dans *Le Canada dans un climat en changement : Rapport sur les enjeux nationaux*, (éd.) F.J. Warren et N. Lulham; gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario



## Table des matières

Messages clés	552
7.1 Introduction	555
7.2 La gestion durable des forêts est menacée par les feux de forêt et les épidémies de ravageurs	556
7.2.1 Introduction	557
7.2.2 Les impacts des feux de forêt	558
Étude de cas 7.1 : Les feux de forêt de 2016 à Fort McMurray (Horse River)	563
7.2.3 Adaptation	566
7.2.4 Aller de l'avant	567
7.3 L'évolution de la santé des océans affecte la pêche et les moyens de subsistance qui y sont associés	567
7.3.1 Introduction	568
7.3.2 Température de l'eau	568
Étude de cas 7.2 : Les impacts de la vague de chaleur marine de 2013–2015 sur la côte ouest du Canada	569
Étude de cas 7.3 : Réponse du crabe des neiges au réchauffement rapide dans le Canada atlantique	570
7.3.3 Oxygène dissous	571
Étude de cas 7.4 : La vulnérabilité du flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent	571
7.3.4 Acidification	573
Étude de cas 7.5 : Les impacts de l'acidification des océans sur la production de homard au Canada atlantique	573
7.3.5 Aller de l'avant	575
7.4 Les changements climatiques apportent des avantages et présentent des menaces pour le secteur de l'agriculture	575
7.4.1 Introduction	576
7.4.2 Risques climatiques et planification de l'adaptation régionale	577
7.4.3 Interconnectivité	579
7.4.4 Aller de l'avant	580
7.5 Les changements climatiques posent des nouveaux défis environnementaux pour l'exploitation minière	581
7.5.1 Introduction	581
7.5.2 Structures de retenue des résidus miniers	582
7.5.3 Restauration des sites miniers	583

Étude de cas 7.6 : Restauration du site minier de Lorraine, au Québec	584
7.5.4 Adaptation	587
7.5.5 Aller de l'avant	588
7.6 Chaque lien de la chaîne de valeur énergétique peut être vulnérable aux changements climatiques	589
7.6.1 Introduction	589
7.6.2 Risques pour la production et le transport d'énergie	590
7.6.3 Adaptation	592
Étude de cas 7.7 : Possibilités d'augmentation de la production hydroélectrique en Islande	593
7.6.4 Aller de l'avant	595
7.7 Les phénomènes climatiques extrêmes ont un impact sur les transports, perturbant les chaînes d'approvisionnement	596
7.7.1 Introduction	596
7.7.2 Impacts climatiques sur les systèmes de transport	599
7.7.3 Comprendre les interdépendances	600
7.7.4 Adaptation	600
Étude de cas 7.8 : Faire face à l'augmentation des risques d'inondation à Surrey, en Colombie-Britannique	601
7.7.5 Aller de l'avant	604
7.8 Les changements climatiques entraînent des changements transformationnels dans le tourisme	604
7.8.1 Introduction	605
7.8.2 Tourisme des sports d'hiver	606
7.8.3. Tourisme de croisière dans l'Arctique	608
Étude de cas 7.9 : Les coûts de l'accroissement de la circulation des navires de tourisme dans l'Arctique canadien	608
7.8.4 Tourisme de « dernière chance »	609
7.8.5 Aller de l'avant	610
7.9 Une participation accrue du secteur privé accélérera l'adaptation dans tous les secteurs	610
7.9.1 Introduction	611
7.9.2 Adaptation des entreprises au Canada	612
7.9.3 Mesures d'adaptation	612
Étude de cas 7.10 : Les assurances et l'adaptation aux changements climatiques au Canada	614
7.9.4 Manque de connaissances	614



7.9.5 Aller de l'avant	615
7.10 Aller de l'avant	616
7.10.1 Manque de connaissances et nouveaux enjeux	616
7.11 Conclusion	618
7.12 Références	620

## Messages clés

### **Les changements climatiques affectent presque tous les secteurs économiques au Canada (voir la section 7.1)**

Pratiquement tous les secteurs de l'économie canadienne sont touchés, directement ou indirectement, par les changements climatiques. Les évaluations des risques et des opportunités qui tiennent compte des liens existant au sein des secteurs et entre ceux-ci peuvent aider à établir des priorités pour les investissements dans des mesures d'adaptation.

### **La gestion durable des forêts est menacée par les feux de forêt et les épidémies de ravageurs (voir la section 7.2)**

Le secteur forestier est confronté à un large éventail de risques liés aux changements climatiques, allant des épidémies ou des infestations d'organismes nuisibles aux incendies de forêt et aux transformations à long terme de la répartition des espèces. Les impacts des événements extrêmes, tels que les feux de forêt, mettent en évidence la nécessité de mesures qui renforcent la résilience des forêts et des collectivités et contribuent à l'atténuation des changements climatiques.

### **L'évolution de la santé des océans affecte la pêche et les moyens de subsistance qui y sont associés (voir la section 7.3)**

Les changements de la température et de la chimie des océans affectent déjà les populations de poissons. Certains impacts futurs pourront être positifs, mais beaucoup d'entre eux poseront des défis aux moyens de subsistance économiques des pêcheurs et à la responsabilité des régulateurs en matière de maintien de la santé des océans. Une gestion efficace dépend de modèles réalistes de l'abondance et de la répartition futures des espèces commerciales en réaction aux facteurs de stress tant climatiques et que non climatiques.

### **Les changements climatiques apportent des avantages et présentent des menaces pour le secteur de l'agriculture (voir la section 7.4)**

Les changements climatiques apportent à la fois des opportunités et des défis au secteur agricole canadien. L'allongement des saisons de croissance et la possibilité de produire des cultures plus au nord pourraient profiter à l'agriculture, tandis que les changements dans la disponibilité de l'eau, les phénomènes météorologiques extrêmes et les organismes nuisibles et les maladies présenteront des défis. Les mesures d'adaptation qui renforcent la résilience climatique et tiennent compte des liens entre l'agriculture et les secteurs qui y sont liés, tels que la gestion de l'eau et les transports, seront bénéfiques tant pour la durabilité locale que pour la sécurité alimentaire mondiale.

## **Les changements climatiques posent des nouveaux défis environnementaux pour l'exploitation minière (voir la section 7.5)**

Les impacts sur la stabilité chimique et physique des structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites sont parmi les plus grands défis liés aux changements climatiques pour l'industrie minière canadienne. La défaillance de telles structures peut entraîner une grave contamination de l'environnement et présenter des risques pour les collectivités et les écosystèmes environnants. La prise en compte des changements climatiques à long terme dès la phase de conception des projets miniers est nécessaire pour réduire ces risques.

## **Chaque lien de la chaîne de valeur énergétique peut être vulnérable aux changements climatiques (voir la section 7.6)**

Un climat en changement affecte la demande d'énergie ainsi que l'entièreté de la chaîne de valeur énergétique, allant de l'exploration et de la production au transport, jusqu'à la distribution. Il est possible d'intégrer les risques climatiques dans la planification actuelle des opérations en considérant les avantages connexes, les options sans regrets et les approches différentielles. Dans la transition vers des filières énergétiques à faibles émissions de carbone, la résilience climatique est une considération primordiale.

## **Les phénomènes climatiques extrêmes ont un impact sur les transports, perturbant les chaînes d'approvisionnement (voir la section 7.7)**

Les transports routiers, ferroviaires, maritimes et aériens au Canada sont vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux changements climatiques à évolution lente, les perturbations majeures ayant des répercussions économiques et sociales importantes. Pour évaluer pleinement ces répercussions, il faut tenir compte des liens entre les différents systèmes de transport, et entre les modes de transport et un large éventail d'autres secteurs économiques. La coordination des mesures d'adaptation entre les compétences et les secteurs profitera aux propriétaires et aux exploitants de moyens de transport ainsi qu'aux personnes qui dépendent des chaînes et des corridors d'approvisionnement vulnérables.

## **Les changements climatiques entraînent des changements transformationnels dans le tourisme (voir la section 2.8)**

Toutes les destinations touristiques doivent s'adapter aux impacts des changements climatiques sur les actifs touristiques ainsi qu'à la baisse de compétitivité au sein d'une économie touristique fortement interconnectée. Alors que la compétitivité du tourisme canadien devrait augmenter en raison des changements climatiques, les implications précises de ce changement sur le marché et dans les régions pour la compétitivité nationale restent insuffisamment étudiées. Le tourisme et les loisirs d'hiver et du Nord sont particulièrement sensibles à la variabilité du climat, et des changements transformationnels sont attendus dans le tourisme de ski, de motoneige et de croisière en Arctique.

## **Une participation accrue du secteur privé accélérera l'adaptation dans tous les secteurs (voir la section 2.9)**

Malgré une prise de conscience croissante des impacts des changements climatiques, il n'y a pas de signes généralisés d'adaptation par les entreprises au Canada. Lorsque l'adaptation a lieu, elle tend à se concentrer sur des actions à court terme pour faire face aux risques physiques, tels que les perturbations dans la construction et les interruptions dans les chaînes d'approvisionnement. Une participation accrue du secteur privé accélérerait l'adaptation au Canada dans son ensemble.

## 7.1 Introduction

**Pratiquement tous les secteurs de l'économie canadienne sont touchés, directement ou indirectement, par les changements climatiques. Les évaluations des risques et des opportunités qui tiennent compte des liens existant au sein des secteurs et entre ceux-ci peuvent aider à établir des priorités pour les investissements dans des mesures d'adaptation.**

Il est de plus en plus évident que les changements climatiques ont des impacts sur l'économie canadienne dans son ensemble et que ces impacts s'intensifieront à l'avenir (Conseil des académies canadiennes, 2019). L'adaptation sera nécessaire à travers tous les secteurs pour limiter les risques climatiques et, dans certains cas, pour tirer profit des nouvelles opportunités. Une adaptation proactive permet l'innovation, la croissance, et peut renforcer la compétitivité économique (Kovacs et Thistlethwaite, 2014). Peu d'études ont entrepris des analyses économiques quantitatives des impacts des scénarios climatiques déterminés sur les entreprises et les industries canadiennes (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) »; Eyzaguirre, 2016), mais des recherches menées ailleurs démontrent que les coûts s'accroissent avec le réchauffement continu (GIEC, 2014). En outre, à des taux de changement climatique plus élevés, les options d'adaptation deviennent toujours plus limitées, présentant des risques critiques allant de la viabilité économique locale à la sécurité alimentaire mondiale (GIEC, 2019, 2018, 2014).

Dans une optique canadienne, la plupart des recherches sectorielles sur les impacts et l'adaptation se sont concentrées sur les secteurs de l'alimentation et des ressources naturelles où les changements climatiques affectent directement la production primaire, tels que l'agriculture, la pêche, la foresterie et la production d'hydroélectricité (Warren et Lemmen, 2014). L'importance économique de ces secteurs est amplifiée à la fois à l'échelle locale, de nombreuses collectivités canadiennes tirant de ces secteurs 80 % ou plus de leurs revenus d'emploi (voir le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »), et à l'échelle internationale, où le Canada figure parmi les leaders mondiaux en matière d'agriculture, de foresterie et d'exportation de minéraux.

Les autres secteurs de l'économie canadienne ont fait l'objet d'une attention moindre, à l'exception de la santé humaine (Berry et coll., 2014). Cependant, il est de plus en plus reconnu que les impacts sanitaires et sociaux liés aux changements climatiques sur les collectivités et les travailleurs, ainsi que les impacts climatiques sur les chaînes d'approvisionnement et autres infrastructures, représentent des risques matériels et financiers importants pour l'ensemble de l'économie (Conseil des académies canadiennes, 2019). Un nombre croissant de documents sur ces autres secteurs est donc en train de voir le jour (voir le chapitre « [Divulgarion, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »).

Les précédentes évaluations sectorielles menées au Canada, telles que Warren et Lemmen (2014), notamment les chapitres 4, 5 et 6, mettent en évidence :

- Des vulnérabilités à la fois aux événements météorologiques extrêmes et aux changements climatiques à évolution lente;
- L'amplification des impacts dans les collectivités nordiques et éloignées;
- Les opportunités que présentent les changements climatiques, pour de nombreux secteurs, en plus de la nature changeante des risques climatiques;

- Une mise en œuvre accrue des mesures d'adaptation aux changements climatiques et un engagement élargi de l'industrie, des gouvernements et de la société civile, renforçant ainsi la résilience sociale et économique;
- Des processus qui peuvent aider à faire progresser les mesures d'adaptation, dont la divulgation des risques, l'évaluation environnementale et des rapports sur la gestion durable;
- Les interdépendances entre les secteurs, avec une importance particulière accordée aux systèmes de transport;
- Un manque de renseignements liés aux impacts indirects des changements climatiques, y compris ceux liés à la demande des consommateurs, aux chaînes d'approvisionnement, aux actifs immobiliers ou autres, à la responsabilité légale et à la réglementation gouvernementale.

Ce chapitre s'appuie sur les constats de Warren et Lemmen (2014) et d'autres évaluations canadiennes pertinentes (p. ex. Palko et Lemmen, 2017) en examinant les principaux impacts des changements climatiques et l'adaptation à ces changements dans sept secteurs de l'économie canadienne, soit la foresterie, l'agriculture, la pêche, l'énergie, l'exploitation minière, les transports et le tourisme, ainsi que des perspectives globales sur l'adaptation des entreprises. Les enjeux liés à la santé humaine ne sont pas abordés dans ce chapitre, car ils font l'objet d'un rapport d'évaluation distinct (voir le rapport *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement*). Les auteurs se sont concentrés sur un nombre limité d'enjeux prioritaires définis par l'évaluation de l'étendue des connaissances disponibles. Par conséquent, les sections suivantes du présent chapitre ne fournissent pas une évaluation exhaustive des impacts des changements climatiques et des réactions d'adaptation au sein de chaque secteur, mais se concentrent plutôt sur les sujets pour lesquels les connaissances ont récemment progressé et pour lesquels les connaissances évaluées sont directement liées au processus décisionnel en cours.

## **7.2 La gestion durable des forêts est menacée par les feux de forêt et les épidémies de ravageurs**

**Le secteur forestier est confronté à un large éventail de risques liés aux changements climatiques, allant des épidémies ou des infestations d'organismes nuisibles aux incendies de forêt et aux transformations à long terme de la répartition des espèces. Les impacts des événements extrêmes, tels que les feux de forêt, mettent en évidence la nécessité de mesures qui renforcent la résilience des forêts et des collectivités et contribuent à l'atténuation des changements climatiques.**

*La variabilité du climat et les événements météorologiques extrêmes associés aux changements climatiques posent un défi à la gestion des forêts en limitant l'accès aux ressources forestières et en augmentant les coûts opérationnels. Des feux de forêt plus fréquents et des infestations de ravageurs forestiers limitent l'approvisionnement local en bois d'œuvre et ont un impact sur le bien-être social et économique des collectivités forestières. De plus, le secteur forestier est confronté à des impacts climatiques à plus long terme, tels que des changements dans la composition taxinomique des arbres, la structure des peuplements, la productivité et la santé. Pour relever ces défis et autres, tels que l'évolution des valeurs sociales et de la demande du marché, les entreprises forestières répondent à de multiples besoins environnementaux, économiques et sociaux en même temps. Les approches de gestion adaptative et fondée sur les risques qui appliquent la recherche, la surveillance et l'évaluation contribueront à éclairer les futurs politiques de gestion afin de promouvoir des forêts saines et résilientes et d'améliorer le stockage du carbone. afin de promouvoir des forêts saines et résilientes et d'améliorer le stockage du carbone.*

## 7.2.1 Introduction

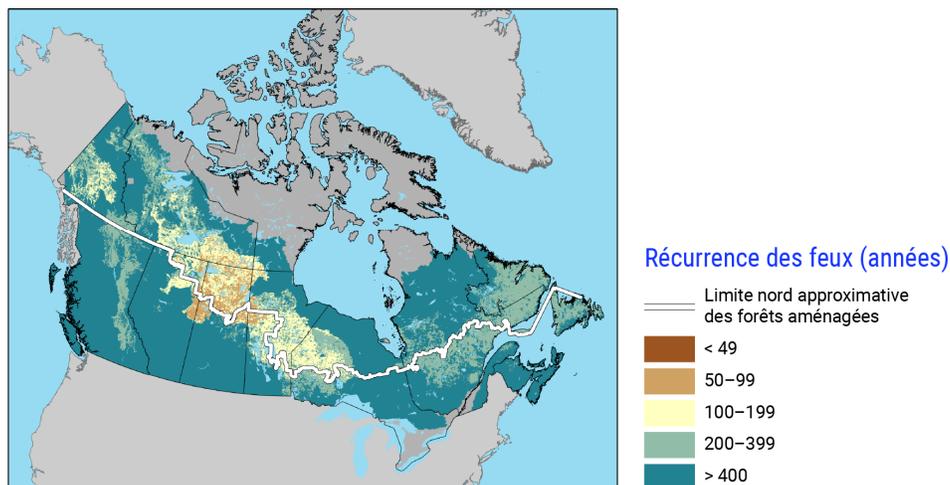
Le secteur forestier canadien est sensible aux impacts du climat sur les biens et services que procurent les écosystèmes. À court terme, les augmentations de température prévues dépasseront probablement les effets modérateurs potentiels de l'augmentation des précipitations sur les conditions météorologiques propices aux feux de forêt (Zhang et coll., 2019), ce qui entraînera un risque accru de feux de forêt et de sécheresse (Boucher et coll., 2018; Boulanger et coll., 2017; Flannigan et coll., 2009). Les changements climatiques sont également un facteur essentiel des perturbations progressives, telles que les infestations de ravageurs, qui influent sur la probabilité de phénomènes de perturbation immédiats, tout en affectant également la structure et la composition à long terme des forêts (Sulla-Menashe et coll., 2018; van Lierop et coll., 2015; Price et coll., 2013; Sturrock et coll., 2011; Burton, 2010). Les effets cumulatifs de ces changements diminuent la santé et la résilience des forêts canadiennes, limitant l'approvisionnement en bois d'œuvre et augmentant les risques pour le secteur forestier (Boucher et coll., 2018; Taylor et coll., 2017; McKenney et coll., 2016; Gauthier et coll., 2014; Price et coll., 2013; Coulombe et coll., 2010; Williamson et coll., 2009). Une meilleure compréhension de ces changements anticipés aidera le secteur forestier à mieux se préparer à la fois aux risques et aux opportunités.

Par le passé, les interventions de la direction dans les impacts des changements climatiques sur le secteur forestier avaient tendance à être réactives, comme l'illustrent les mesures prises face à l'épidémie du dendroctone du pin ponderosa dans l'Ouest canadien (Jones et Preston, 2011; Bentz et coll., 2010; Williamson et coll., 2009). Récemment, les gestionnaires forestiers, les spécialistes des politiques et les chercheurs ont mis au point un ensemble de ressources, d'outils et de protocoles en matière de connaissances afin d'aider les praticiens et les intervenants à adopter une approche proactive pour gérer les impacts des changements climatiques et les facteurs de stress environnementaux et socio-économiques connexes. Les phases de la gestion adaptative sont examinées dans une série d'évaluations antérieures (Gauthier et coll., 2014; Lemmen et coll., 2014; Price et coll., 2013; TRNEE, 2011; Williamson et coll., 2009), en reconnaissant qu'il n'existe pas de « feuille de route » unique pour guider la mise en œuvre des réactions d'adaptation (Samy et coll., 2015). Cette section s'appuie sur les évaluations passées en se concentrant sur les feux de forêt dans le contexte des événements récents.

## 7.2.2 Les impacts des feux de forêt

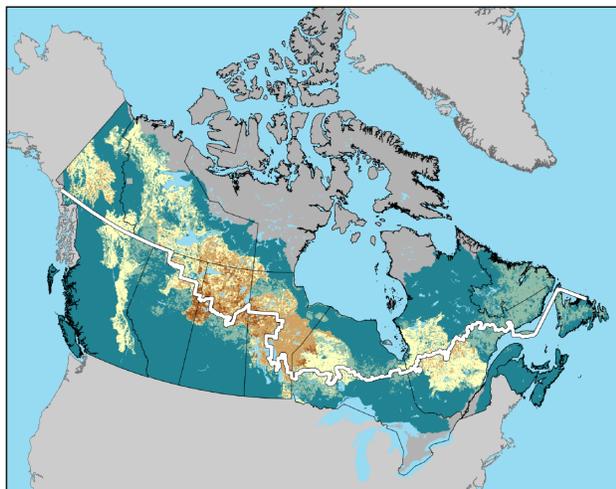
Si les feux de forêt sont un élément naturel et essentiel de l'écologie forestière, la prise de conscience de l'impact dramatique que les feux de forêt ont sur les Canadiens et les Canadiennes est de plus en plus importante. À mesure que les changements climatiques se produisent, les régimes des feux de forêt changent, souvent avec une fréquence, une gravité et une ampleur croissantes (Mori et Johnson, 2013; Flannigan et coll., 2009). Les facteurs non climatiques, tels que l'état des forêts, les pratiques de gestion forestière, la couverture terrestre (Marchal et coll., 2017) et les perturbations cumulatives sont également des considérations importantes pour expliquer ces augmentations. La saison des feux se prolonge, commençant plus tôt au printemps et se terminant plus tard à l'automne (Zhang et coll., 2019; Hanes et coll., 2018; Jolly et coll., 2015; Flannigan et coll., 2013), avec des feux plus fréquents (exprimés par une récurrence des feux plus courte) prévus tout au long de ce siècle (voir la figure 7.1).

Période de référence (1981–2010)

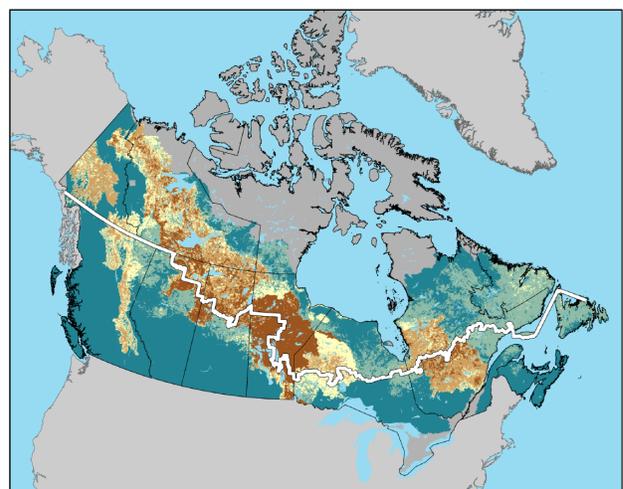


a)

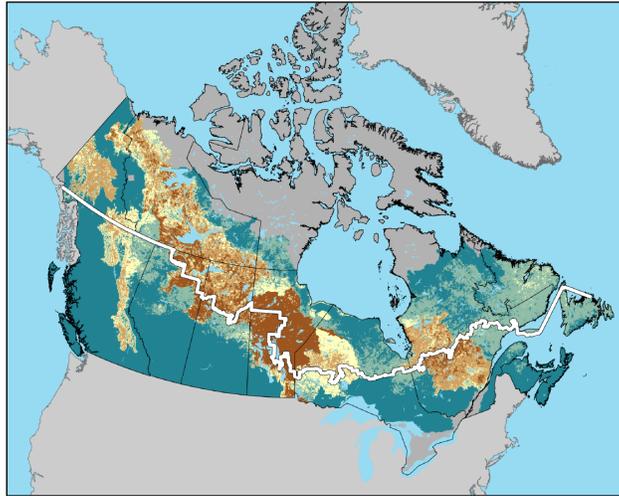
RCP2.6 (2011–2040)



RCP2.6 (2071–2100)

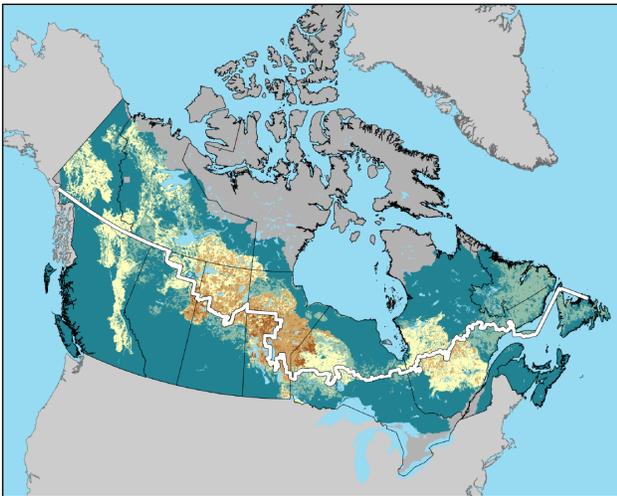


RCP2.6 (2071–2100)

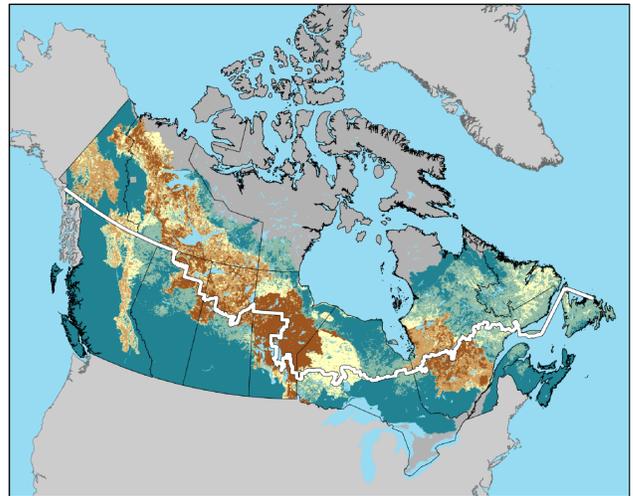


**b)**

RCP8.5 (2011–2040)



RCP8.5 (2041–2070)



RCP8.5 (2071–2100)

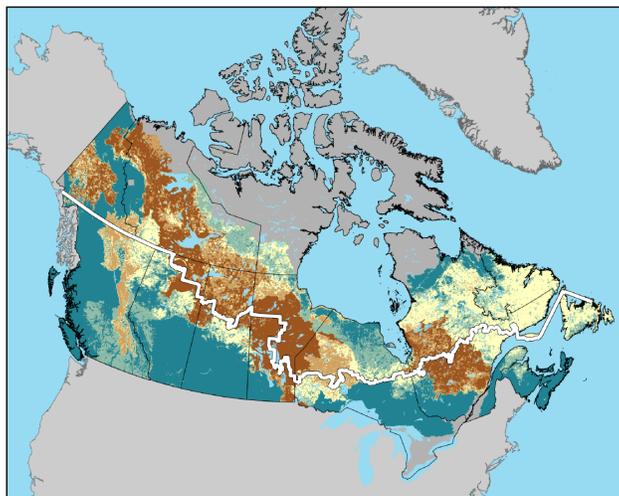


Figure 7.1 : Cartes interactives de la probabilité des feux de forêt de référence et projetés au Canada, présentées en termes de récurrence des feux (années), pour deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) : a) un scénario d'émissions basses (RCP2.6) et b) un scénario d'émissions hautes (RCP8.5). Des récurrences de feux plus courtes (en rouge et orange) représentent une plus grande probabilité d'incendie, et des cycles plus longs (en vert clair et vert foncé) représentent une faible probabilité d'incendie. Les cartes montrent la probabilité d'un incendie local (les pixels représentent une résolution de 250 m<sup>2</sup>) en utilisant les zones homogènes de régime des feux de Boulanger et coll. (2014) et affichent la sélectivité des feux en fonction de la composition de la végétation et de l'âge du peuplement au niveau du pixel. Source : Boulanger et coll., 2014.

Les impacts écologiques à la suite des feux de forêt comprennent des changements dans la structure des peuplements forestiers, tels que la répartition des classes d'âge et la composition taxinomique (Price et coll., 2013; Brown et Johnstone, 2012; Lynch, 2004). Des récurrences plus courtes, combinées à une augmentation de la gravité des incendies, augmentent le risque de défaillance de la régénération (voir la figure 7.2; Whitman et coll., 2019) et de transition des zones forestières vers des terrains non boisés (Boiffin et Munson, 2013; Price et coll., 2013; Brown et Johnstone, 2012). La perte de couvert arboré dans le paysage peut entraîner des inondations et des mouvements de terrain dans certaines régions (Bladon, 2018; Creed et coll., 2016). Les changements apportés aux régimes de feux menacent non seulement l'approvisionnement en bois d'œuvre (qualité, quantité et diversité des espèces d'arbres), mais aussi la fourniture de services écosystémiques, tels que la biodiversité, les habitats des espèces en péril, le stockage du carbone, la qualité et la quantité de l'eau (voir le chapitre « [Services écosystémiques](#) »; Gauthier et coll., 2014; Price et coll., 2013). Bien qu'il soit difficile de prévoir comment ces changements se manifesteront localement, l'analyse des infestations passées par le dendroctone du pin ponderosa suggère que la création de forêts plus résilientes entraîne de multiples bienfaits (Dymond et coll., 2015).



Figure 7.2 : Photo d'un paysage post-incendie qui risque de ne pas se régénérer : un site dans les Territoires du Nord-Ouest, un an après un feu de forêt en 2014. Ce site avait précédemment brûlé en 2004 et le court intervalle (10 ans) entre les feux a conduit à une absence totale de régénération des arbres. Le manque de régénération est attribué à l'absence de semis et de matière organique dans le sol avant le feu. Photo avec la permission de Ressources naturelles Canada.

Il y a une prise de conscience croissante des impacts sociaux qu'ont les feux de forêt (McGee et coll., 2015; Gill et coll., 2013), notamment les nombres de personnes évacuées (voir la figure 7.3). Les évacuations entraînent des problèmes de santé physique et mentale, perturbent la vie des personnes évacuées et créent un stress économique pour les individus et les collectivités (McCaffrey et coll., 2015; Beverly et Bothwell, 2011; Marshall et coll., 2007; Morton et coll., 2003). Avec la multiplication des feux de forêt, les problèmes sanitaires dus à la fumée augmentent bien au-delà du voisinage immédiat de l'incendie (Liu et coll., 2016; Reid et coll., 2016; Finlay et coll., 2012) et les problèmes de visibilité ont des répercussions sur les transports (Goodrick et coll., 2013). À ce jour, ces impacts ont touché de manière disproportionnée les petites collectivités et les collectivités autochtones : un tiers de toutes les personnes évacuées à la suite d'un feu de forêt sont autochtones et plus de la moitié des évacuations liées à la fumée touchent des collectivités autochtones (voir le chapitre « [Collectivités rurales et éloignées](#) »; Sankey, 2018; Scharbach et Waldram, 2016; Christianson, 2015).

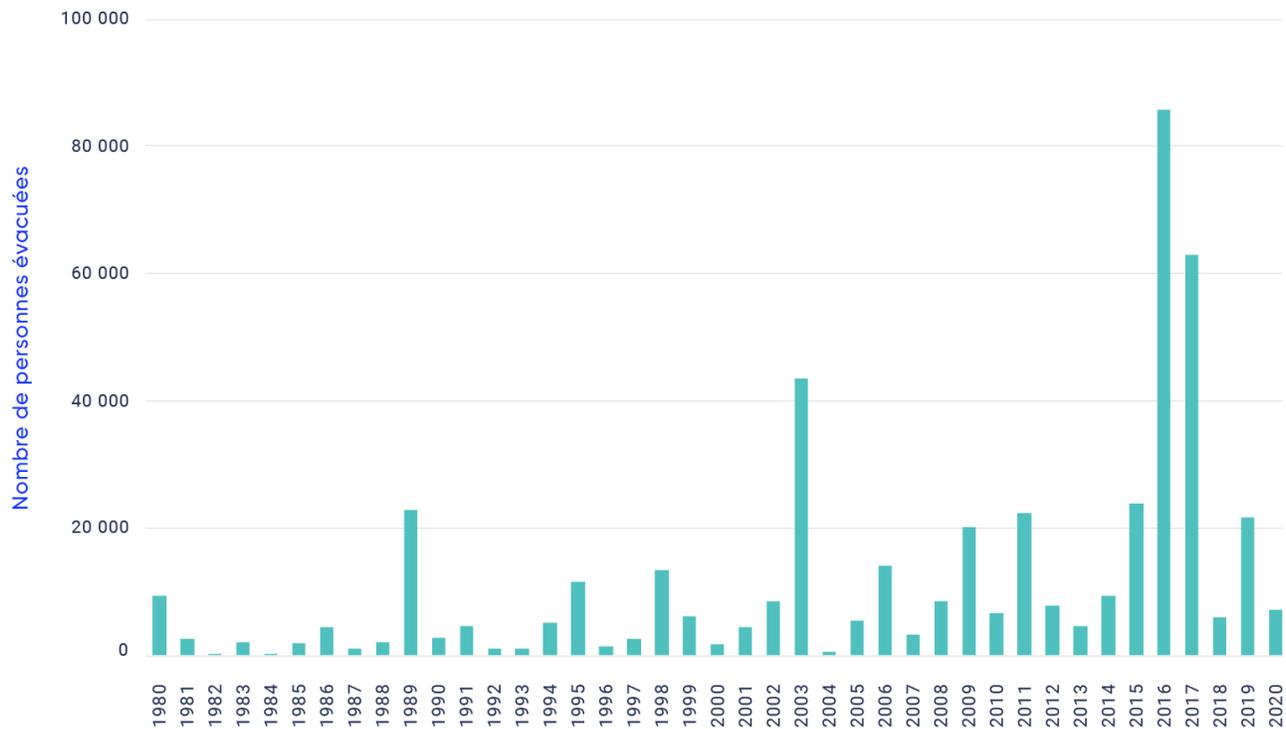


Figure 7.3 : Nombre de personnes évacuées à la suite de feux de forêt au Canada (1980–2020). De nombreux facteurs, dont la fréquence des feux, leur ampleur et leur emplacement par rapport à la densité de population, influent sur le nombre de personnes évacuées. La Colombie-Britannique, l'Alberta et l'Ontario ont connu le plus grand nombre d'évacuations entre 1980 et 2020. Source des données : Gouvernement du Canada, 2020.

Les impacts économiques associés aux feux de forêt sont d'une portée considérable. Les coûts directs, qui comprennent les activités de gestion et de suppression des incendies (Rijal et coll., 2018; Wotton et coll., 2010), sont passés d'une moyenne de 290 millions de dollars par an au début des années 1970 à environ 1 milliard de dollars par an au cours des dernières années (Ressources naturelles Canada, 2019, 2017). Il est prévu que ces coûts augmentent encore de plus de 100 % d'ici la fin du siècle dans le cadre d'un scénario de fortes émissions (Hope et coll., 2016). Le maintien des niveaux actuels de suppression des incendies semble ne pas être viable (Wotton et coll., 2017; Hope et coll., 2016). Les impacts des changements climatiques et la perte de l'approvisionnement en bois d'œuvre ont des répercussions économiques en cascade sur le secteur forestier qui sont difficiles à quantifier (Ochuodho et Lantz, 2014). D'autres secteurs sont également confrontés à des coûts directs liés aux feux de forêt, notamment les dépenses consacrées à l'évacuation, les dommages causés aux infrastructures, la fermeture d'entreprises et d'industries, les coûts d'assurance et la perte de services écosystémiques forestiers (McGee et coll., 2015; Gauthier et coll., 2015; Peter et coll., 2006). L'importance accrue accordée aux forêts dans une économie à faibles émissions de carbone souligne l'importance de quantifier les coûts associés à l'émission des gaz à effet de serre. Il existe également des coûts de santé associés à la fumée et au stress d'évacuation (Reid et coll., 2016; McCaffrey et coll., 2015; Beverly et Bothwell, 2011; Morton et coll., 2003).

Les pertes catastrophiques assurables dues à des événements extrêmes tels que les feux de forêt sont en hausse. L'incendie de Fort McMurray en 2016 a été le plus grand événement d'assurance au Canada, évalué à près de 4 milliards de dollars (voir l'étude de cas 7.1; Bureau d'assurance du Canada, 2019, 2016; Swiss Re Institute, 2018; Statistique Canada, 2017). Cette évaluation sous-estime largement les coûts globaux, étant donné que les coûts de réparation et de reconstruction non assurés pour les gouvernements et les propriétaires peuvent être trois à quatre fois supérieurs à ceux des compagnies d'assurance privées (Dixon et coll., 2018). Le lien entre les changements climatiques et les événements extrêmes est clair (p. ex., GIEC, 2012), une récente analyse d'attribution au Canada indiquant que les changements climatiques ont augmenté la probabilité des conditions de sécheresse extrême, le risque de feux de forêt extrêmes et la durée des saisons de feux (Kirchmeier-Young et coll., 2017; Tett et coll., 2017). Tous ces facteurs sont applicables à l'incendie de Fort McMurray (Zhang et coll., 2019).

## Étude de cas 7.1 : Les feux de forêt de 2016 à Fort McMurray (Horse River)

Le feu de forêt de Horse River a débuté le 1<sup>er</sup> mai 2016, à sept kilomètres en dehors de Fort McMurray, Alberta. Deux jours plus tard, l'incendie est entré dans Fort McMurray, détruisant environ 2 400 maisons et déplaçant 2 000 habitants supplémentaires dans trois collectivités de la région de Wood Buffalo (voir la figure 7.4; MNP, 2017). Avant qu'il ne soit maîtrisé, le feu s'est propagé à travers le Nord de l'Alberta jusqu'en Saskatchewan, menaçant des collectivités des Premières Nations, ayant un impact sur l'exploitation des sables bitumineux de l'Athabasca par la perte de production d'environ 47 millions de barils de pétrole, soit un manque à gagner de 1,4 milliard de dollars (Antunes et coll., 2016), et dévastant de vastes forêts et détruisant des infrastructures essentielles (MNP, 2017). Le Bureau d'assurance du Canada a estimé les pertes assurées à 3,9 milliards de dollars, ce qui en fait la catastrophe la plus coûteuse de l'histoire du Canada et aussi l'un des pires incendies au niveau international (Bureau d'assurance du Canada, 2019, 2016; Swiss Re Institute, 2018).

a)



b)

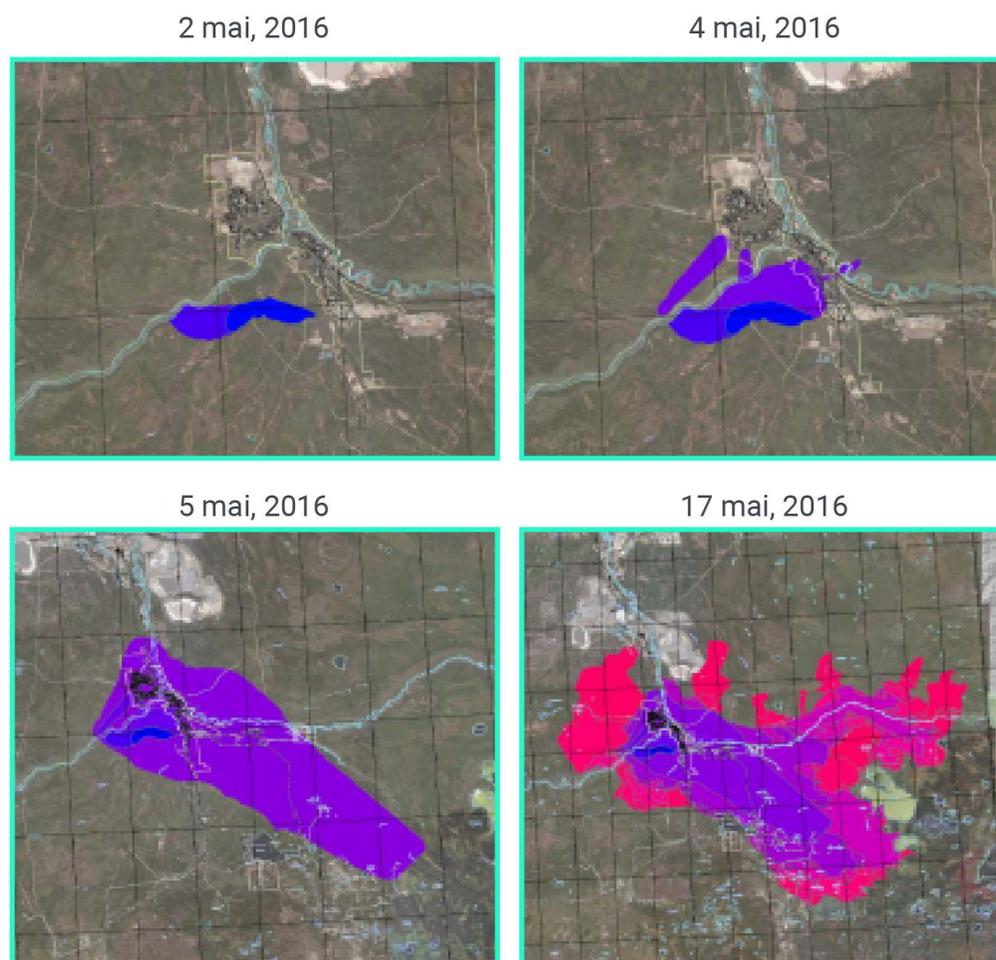


Figure 7.4 : a) Approche de l'incendie de Horse River à Fort McMurray, Alberta en 2016; b) Cartes indiquant la croissance de l'incendie de Horse River entre le 2 mai, 2016 et le 17 mai, 2016. Source : Adapté de MNP, 2017.

L'estimation du coût total des incendies présente des défis en raison du nombre de coûts directs et indirects, allant des dommages économiques subis par les habitations et les infrastructures aux coûts des soins de santé associés à la pollution atmosphérique causée par le feu et aux rejets toxiques dans les bassins versants (voir le tableau 7.1). L'expérience de Horse River illustre comment les impacts des feux de forêt peuvent rapidement s'étendre au-delà du secteur forestier pour inclure de nombreux autres secteurs et disciplines et souligne l'importance de la collaboration entre les partenaires institutionnels pour faire face à l'ensemble des impacts des changements climatiques.

## Tableau 7.1 : Exemples de coûts directs et indirects liés au feu de forêt de Fort McMurray (Horse River)

### COÛTS DIRECTS (EXEMPLES)

La suppression et l'extinction des feux de forêt dans de multiples territoires

Les activités d'évacuation, dont la coordination et le soutien des personnes évacuées

Le maintien de l'ordre public pendant l'évacuation

Les dommages aux biens personnels

Les dommages causés aux infrastructures des entreprises

Les dommages causés aux infrastructures publiques (conduites de gaz et lignes électriques et téléphoniques)

Les pertes commerciales en bois d'œuvre

### COÛTS INDIRECTS (EXEMPLES)

Des pertes dans la production d'hydrocarbures

La perte de la production industrielle non liée aux hydrocarbures, y compris le commerce de détail et d'autres secteurs commerciaux

Le chômage (perte de rémunération et de salaire)

Des transformations démographiques (déclin de la population et perte de la main-d'œuvre productive)

Les coûts des services sociaux, y compris les soins de santé à long terme et les enjeux liés aux familles

Les émissions de gaz à effet de serre, le rejet de polluants et autres impacts sur les services écosystémiques

Les augmentations des taux d'assurance

Source : Selon Subedi et coll., 2016.

### 7.2.3 Adaptation

Étant donné que les risques associés aux feux de forêt et aux autres impacts climatiques ont des effets au-delà du secteur forestier, la mise en œuvre des mesures d'adaptation nécessite la participation d'intervenants en provenance de multiples secteurs (Furness et Nelson, 2016; Nelson et coll., 2016). Certaines options d'adaptation mentionnées ci-dessous sont spécifiques aux incendies de forêt, tandis que d'autres contribuent à accroître la résilience globale des forêts et des collectivités forestières (voir Edwards et coll., 2015 et Gauthier et coll., 2014 pour les recueils de mesures d'adaptation).

Diverses options d'adaptation sont disponibles pour réduire le risque et les impacts des perturbations forestières du type feux de forêt (Leduc et coll., 2015; McGee et coll., 2015; Blackwell et coll., 2008). Par exemple, le risque d'incendie peut être réduit par une gestion active des combustibles, impliquant des coupes d'éclaircie, l'enlèvement des débris et le brûlage dirigé (Astrup et coll., 2018; Schroeder, 2010; Ohlson et coll., 2006; Spittlehouse, 2005), et l'ajustement des calendriers de récolte pour favoriser les peuplements plus âgés et endommagés par les insectes (Dymond et coll., 2015; Raulier et coll., 2014). La planification de la régénération pourrait inclure une plus grande proportion d'espèces plus tolérantes au feu et d'arbres à feuilles caduques (Bernier et coll., 2016).

Au niveau local, les activités FireSmart (Hirsch et coll., 2001), telles que la création de pare-feu autour des collectivités, la construction avec des matériaux résistant au feu et le nettoyage des débris autour des propriétés pour réduire la charge en combustible, contribuent à accroître la résilience aux feux de forêt (FireSmart Canada, 2019a, 2019b, 2018; Spittlehouse, 2005). Les collectivités améliorent activement leur préparation aux situations d'urgence en créant des plans d'évacuation et d'accueil des personnes évacuées tenant compte des différences culturelles (Scharbach et Waldram, 2016; Nation crie de Beardy's et Okemasis', s.d.).

Bien qu'un certain nombre de réactions d'adaptation aient été élaborées pour réduire les coûts résultant des effets des feux de forêt sur l'approvisionnement en bois d'œuvre (Rijal et coll., 2018; Leduc et coll., 2015; Raulier et coll., 2014; Raulier et coll., 2013), la prise en compte des impacts économiques plus larges des feux de forêt s'étend bien au-delà du secteur forestier (Orwig, 2016). Par exemple, le secteur des assurances examine l'impact des feux de forêt sur l'exploitation minière, la foresterie, l'énergie, l'agriculture, les transports et les services publics et collabore avec des organisations telles que FireSmart (Hirsch et coll., 2001) pour encourager les actions visant à réduire les risques d'incendie autour des collectivités et des infrastructures.

L'état de la mise en œuvre fournit un point de référence pour mesurer les progrès d'adaptation dans le secteur forestier. Le groupe de travail sur les changements climatiques du Conseil canadien des ministres des forêts a produit une série de neuf rapports interdépendants (Conseil canadien des ministres des forêts, s.d.), y compris un guide pratique (Edwards et coll., 2015), pour soutenir l'intégration des changements climatiques dans la planification de la gestion forestière. Les adopteurs précoces utilisent ce guide pour évaluer les vulnérabilités et classer les options d'adaptation en fonction de la capacité actuelle et future de mise en œuvre (Andrews-Key, 2018; Gatin et Johnston, 2017). Des documents d'orientation ont également été produits pour aider les propriétaires de boisés privés à s'adapter aux changements climatiques (Ontario Woodlot Association, 2015). Les initiatives nationales et régionales sur les changements climatiques (p. ex. Gatin et Johnston, 2017) comprennent des stratégies et des plans d'action sur les changements climatiques, ainsi que des politiques et des règlements actualisés. La recherche de soutien a mis l'accent sur les

approches d'évaluation intégrées, en s'appuyant sur l'expertise dans diverses disciplines en vue de compléter la recherche écologique par des analyses socio-économiques.

### 7.2.4 Aller de l'avant

Les changements climatiques affectent déjà le secteur forestier, en particulier par des événements extrêmes tels que les feux de forêt. Ces effets devraient se poursuivre et s'intensifier, ce qui nécessitera des efforts accrus pour mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Bien qu'il n'existe pas de feuille de route unique pour guider la mise en œuvre de l'adaptation, les évaluations de risques régionales au Canada ont souligné la nécessité d'intégrer les pressions écologiques, sociales et économiques au-delà du secteur forestier. L'intégration et la capture de synergies entre les secteurs peuvent être grandement facilitées par l'adoption de sources de données et de scénarios communs (Environnement et Changement climatique Canada, 2018) ainsi que de méthodes et de cadres fondés sur les risques (voir la section 7.9; Johnston et coll., 2020; ISO, 2018; Daniel et coll., 2017; Calkin et coll., 2014; Jones et Preston, 2011). La mise en œuvre d'actions qui renforcent la résilience climatique des forêts est importante pour soutenir les services écologiques, sociaux et économiques procurés par les forêts.

## 7.3 L'évolution de la santé des océans affecte la pêche et les moyens de subsistance qui y sont associés

**Les changements de la température et de la chimie des océans affectent déjà les populations de poissons. Certains impacts futurs pourront être positifs, mais beaucoup d'entre eux poseront des défis aux moyens de subsistance économiques des pêcheurs et à la responsabilité des régulateurs en matière de maintien de la santé des océans. Une gestion efficace dépend de modèles réalistes de l'abondance et de la répartition futures des espèces commerciales en réaction aux facteurs de stress tant climatiques et que non climatiques.**

*Les changements climatiques entraînent une hausse des températures et de l'acidité de l'eau, ce qui diminue la teneur en oxygène et augmente la salinité des océans du monde. Parmi ces variables environnementales, les changements de température, l'oxygène dissous et l'acidification seront responsables de la plupart des impacts directs sur la pêche et l'aquaculture (élevage de poissons ou de mollusques et crustacés) au Canada au cours des prochaines décennies. Ces variables entraînent et continueront d'entraîner des changements dans la répartition, la productivité, la reproduction et la période des événements saisonniers (p. ex. la mue, la migration, le frai et l'éclosion) pour de nombreuses espèces aquatiques. Les événements extrêmes, en particulier les réchauffements abrupts qui durent plusieurs mois, sont également des considérations importantes dans la*

*gestion aquatique. La planification des mesures d'adaptation doit tenir compte des interactions complexes entre les différents facteurs de stress climatiques, ainsi que les facteurs de stress non climatiques tels que les pressions exercées sur la pêche.*

### 7.3.1 Introduction

Le rôle essentiel et la sensibilité climatique des pêches et de l'aquaculture dans la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale et dans la résilience des collectivités côtières à l'échelle locale sont bien établis (Bindoff et coll., 2019; Lemmen et coll., 2016; Porter et coll., 2014). Un aperçu des impacts des changements climatiques sur la production alimentaire au Canada et des mesures d'adaptation connexes a été présenté par Campbell et coll. (2014). Pour le secteur de la pêche, les chercheurs ont conclu que les impacts régionaux des changements au niveau de l'habitat physique, des espèces envahissantes et des réponses sociétales détermineront les futurs modèles d'utilisation ainsi que les implications économiques globales. L'aquaculture a été reconnue comme ayant la plus grande portée pour des mesures d'adaptation, ce qui la rend moins vulnérable et mieux placée pour profiter des opportunités par rapport à la pêche de capture, tandis que les pêches de subsistance traditionnelles étaient considérées comme particulièrement vulnérables.

Cette section s'appuie sur les conclusions de Campbell et coll. (2014) en se concentrant sur les défis à court terme pour la gestion durable des écosystèmes marins qui découlent des transformations physiques des habitats (p. ex. le réchauffement, l'acidification et la diminution ou l'épuisement de l'oxygène dissous) et met en évidence la manière dont les changements climatiques sont intégrés dans les avis scientifiques qui éclairent les décisions de gestion des pêches et de l'aquaculture. Les impacts physiques des changements climatiques sont décrits plus en détail dans [le chapitre 7 du Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Greenan et coll., 2019a). Les impacts sur la pêche récréative et commerciale et l'aquaculture en eau douce ne sont pas abordés ici, mais il est clair que l'augmentation de la température de l'eau et la diminution du pH et des concentrations en oxygène ont déjà un impact sur de nombreux écosystèmes d'eau douce. En outre, il est à noter que les espèces anadromes seront soumises à des impacts négatifs pendant leur présence en eau douce, et donc que même les pêcheries marines seront affectées par les changements des écosystèmes d'eau douce.

### 7.3.2 Température de l'eau

À quelques exceptions près, la température interne des poissons et des crustacés correspond étroitement à celle de l'eau dans laquelle ils vivent. En conséquence, la température exerce une forte influence sur leur physiologie (p. ex. le métabolisme et la croissance) et les animaux aquatiques sont adaptés à une plage de températures spécifique à chaque espèce. Lorsque des espèces mobiles rencontrent des températures approchant leur limite supérieure de tolérance, elles ont tendance à se déplacer vers des températures plus fraîches et plus idéales. Au large de la côte ouest de la Colombie-Britannique, un événement de réchauffement persistant de 2013 à 2015 a eu plusieurs impacts écosystémiques (voir l'étude de cas 7.2).

## Étude de cas 7.2 : Les impacts de la vague de chaleur marine de 2013–2015 sur la côte ouest du Canada

Un événement de réchauffement bien documenté qui a commencé au large de la côte ouest de la Colombie-Britannique en 2013 était évident dans les eaux côtières à l'été 2015 (voir la figure 7.5), avec une augmentation des températures de l'eau de 3 °C au-dessus de la normale (Ross, 2016). Ce réchauffement des eaux côtières s'est accompagné d'une prolifération d'algues nuisibles, de niveaux records de zooplanctons gélatineux de grande taille et d'une invasion d'espèces d'eau chaude (Chandler et coll., 2016). L'événement peut avoir eu des conséquences en cascade sur l'écosystème, comme la prolifération exceptionnelle d'un tunicier aquatique colonial (un animal sans colonne vertébrale que l'on trouve rarement au nord de la Californie) observée sur toute la côte ouest de l'Amérique du Nord en 2017 (Brodeur et coll., 2018). Bien que les causes spécifiques demeurent inconnues, la vague de chaleur marine de 2013–2015, associée à des conditions favorables à la croissance et à la reproduction, pourrait avoir entraîné cette efflorescence sans précédent. Cette prolifération a eu des effets négatifs considérables sur les activités de pêche commerciale et récréative en raison de l'encrassement des engins de pêche (Brodeur et coll., 2018), ce qui illustre le fait que des événements anormaux peuvent avoir des répercussions imprévues sur les pêches côtières.

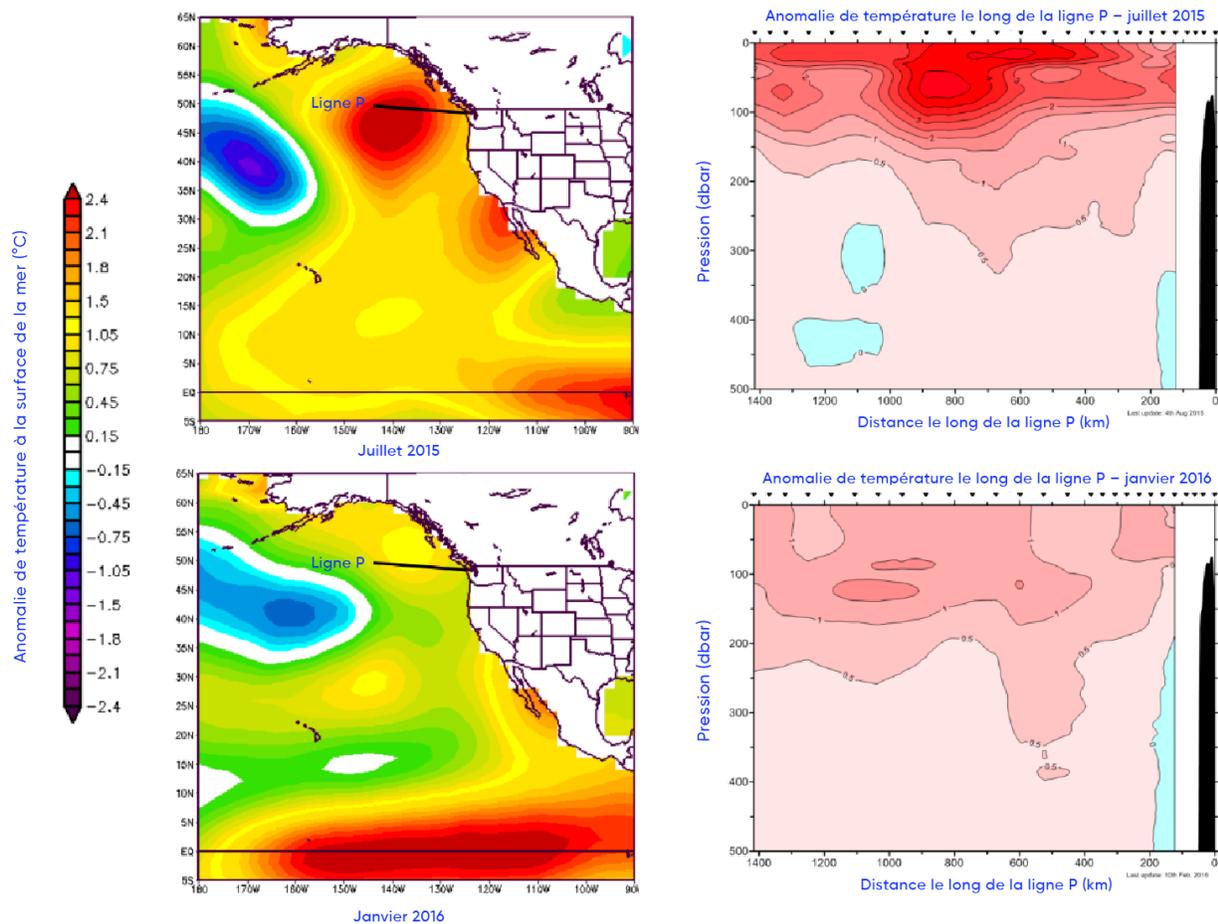


Figure 7.5 : Les encadrés sur la gauche présentent des données sur les anomalies de température à la surface de la mer (National Oceanic and Atmospheric Administration), y compris des informations provenant de satellites, de navires et de bouées amarrées et dérivantes. Les anomalies de température correspondent aux différences entre la température observée et la température moyenne à long terme (toutes deux en degré Celsius) pour un endroit donné. Les couleurs verte, jaune et rouge représentent des températures supérieures à la moyenne, tandis que les couleurs bleue et violette représentent des températures inférieures à la moyenne. Les encadrés à droite montrent les anomalies de température en fonction de la profondeur (en mètres) le long de la ligne P, comme indiqué dans les encadrés à gauche et commençant près de la côte sud-ouest de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique, et menant à la station océanique Papa (145° W, 50° N). Les couleurs sont délimitées par des incréments de 0,5 °C. Source : Adapté de Chandler et coll. 2016.

Les tendances générales au réchauffement documentées depuis le siècle dernier sur la plupart des océans du monde ont déjà entraîné des modifications dans la répartition (Mueter et Litzow, 2008). Les changements dans la répartition des espèces commerciales entraîneront des changements au niveau des emplacements et du succès des efforts de pêche. En définitive, de nouvelles espèces de pêche pourraient remplacer les anciennes. Des mouvements plus faibles ou des changements en abondance peuvent également être observés à l'échelle régionale, puisque les poissons et les crustacés adaptent leur répartition aux changements locaux de température (voir l'étude de cas 7.3).

### **Étude de cas 7.3 : Réponse du crabe des neiges au réchauffement rapide dans le Canada atlantique**

Le crabe des neiges est une espèce d'eau froide avec une limite thermique supérieure de 6–7 °C. Il s'agit de la deuxième pêche la plus rentable dans le Canada atlantique (Pêches et Océans Canada, 2018a). Il a été démontré que sa répartition est en expansion pendant les périodes froides et en contraction pendant les périodes chaudes (Ernst et coll., 2005; Zheng et Kruse, 2000; Tremblay, 1997). Un événement de réchauffement extrême documenté dans les eaux profondes à l'embouchure du chenal Laurentien au large de la Nouvelle-Écosse, à partir de 2012, s'est propagé sur la plate-forme Scotian, avec des températures atteignant 7–9 °C sur sa partie occidentale (Brickman et coll., 2018). Ce réchauffement s'est accompagné d'une baisse prononcée des captures dans cette zone de pêche, ce qui suggère une mortalité locale due au stress thermique, faute de refuges locaux plus froids (Zisserson et Cook, 2017). Ce réchauffement s'est également propagé dans les chenaux profonds du golfe du Saint-Laurent et est toujours en cours (Galbraith et coll., 2018). Dans cet écosystème, les changements dans la répartition et l'abondance du crabe des neiges et d'autres espèces commerciales importantes d'eaux froides, comme le flétan du Groenland et la crevette nordique, ont été en partie causés par un réchauffement des eaux profondes supérieur à 1 °C (Pêches et Océans Canada, 2018b, c, d).

L'attribution des impacts doit prendre en compte les multiples facteurs climatiques et non climatiques qui affectent la répartition des espèces. Par exemple, la pression de pêche, la taille de la population et la température du fond affectent toutes, à des degrés divers, les changements dans la répartition des poissons de fond (Adams et coll., 2018). Cela illustre l'importance d'examiner le rôle conjoint de la pêche et du climat dans la répartition des stocks de poissons afin de fournir des avis scientifiques éclairés à des fins de gestion.

### 7.3.3 Oxygène dissous

Les poissons et les invertébrés ont besoin d'oxygène pour vivre, bien qu'ils diffèrent dans leur sensibilité au manque d'oxygène dissous (hypoxie). Chaque espèce a un niveau minimum d'oxygène nécessaire à sa survie, une hypoxie sévère entraînant une perte d'habitat et des changements de répartition pour les espèces mobiles et une mortalité accrue pour les espèces immobiles (sessiles) (Breitburg et coll., 2018). Une hypoxie modérée limite la quantité d'énergie que les animaux peuvent dépenser (Claireaux et Chabot, 2016), ce qui se traduit généralement par des taux d'alimentation et de croissance réduits pour les animaux considérés individuellement (Hrycik et coll., 2017; Townhill et coll., 2016), et aboutit à une productivité réduite pour les populations affectées.

Les changements climatiques vont exacerber les problèmes d'hypoxie, car le réchauffement réduit la solubilité de l'oxygène, augmente la consommation biologique d'oxygène et réduit la ventilation dans les océans de la planète, ce qui augmente le temps de séjour en eaux profondes. Un temps de séjour prolongé signifie que les poissons, les invertébrés et les bactéries ont plus de temps pour éliminer l'oxygène par la respiration, et la désoxygénation devient plus prononcée (Breitburg et coll., 2018). L'analyse par modélisation des impacts de l'augmentation de la température et de l'hypoxie dans le golfe du Saint-Laurent indique un déclin significatif de la production de biomasse (voir l'étude de cas 7.4).

#### Étude de cas 7.4 : La vulnérabilité du flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent

Le flétan du Groenland qui vit dans le golfe du Saint-Laurent est la population vivant dans les eaux les plus chaudes de cette espèce d'eau froide. Cette population est confrontée à une hypoxie chronique sur l'ensemble de sa répartition, avec des niveaux d'oxygène inférieurs à 50 % de saturation. L'hypoxie est la plus aiguë (18–25 % de saturation) en tête des principaux canaux, dont l'estuaire du Saint-Laurent, qui est la principale zone pouponnière de cette population. Les études en laboratoire (Dupont-Prinet et coll., 2013) et l'échantillonnage sur le terrain (Youcef et coll., 2015) montrent tous deux que les faibles niveaux d'oxygène réduisent les taux d'alimentation et de croissance des flétans du Groenland juvéniles. Un modèle de répartition basé sur les conditions environnementales et l'abondance prévoit une réduction de la répartition et de l'abondance de cette espèce dans le golfe du Saint-Laurent d'ici le milieu du siècle (2046–2065) (voir la figure 7.6; Stortini et coll., 2017).

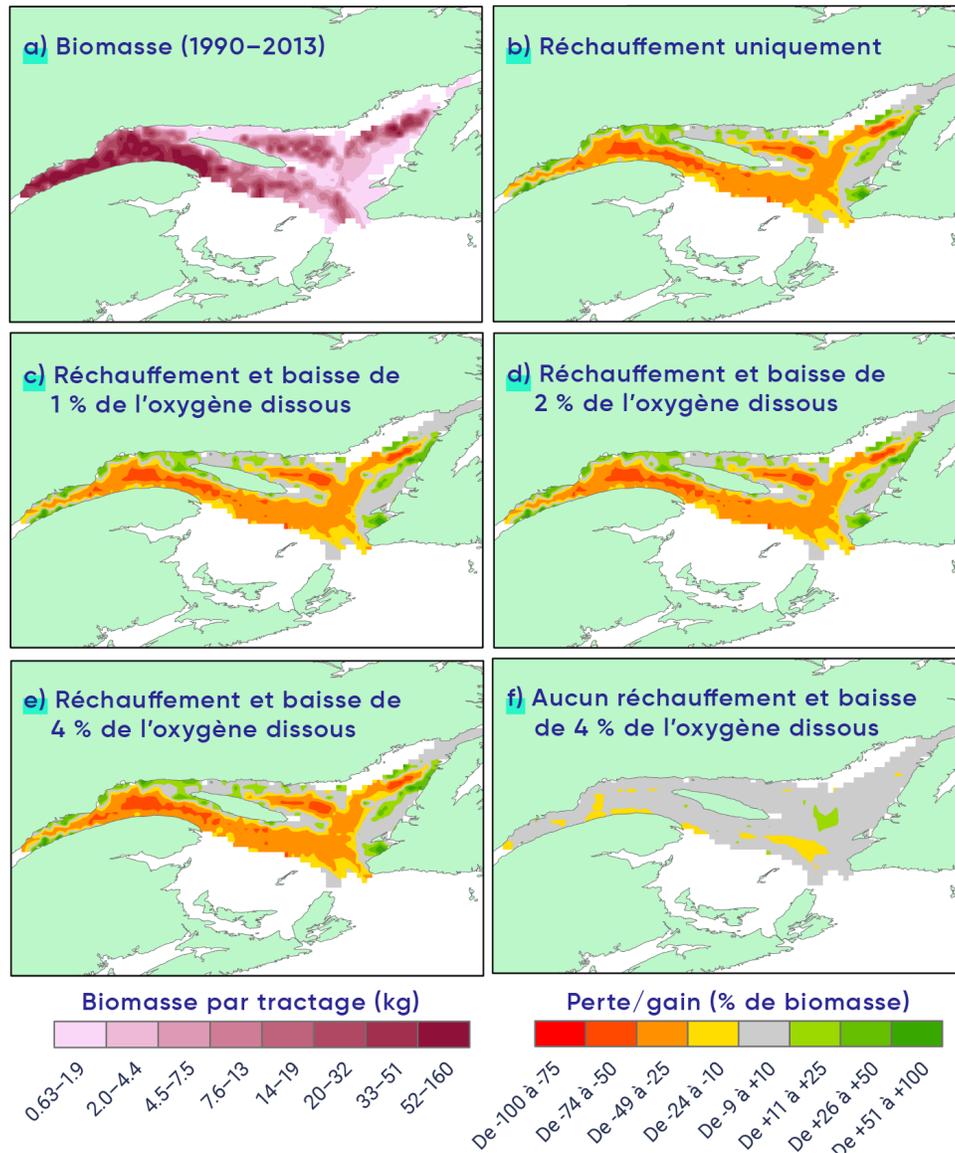


Figure 7.6 : Les résultats de cinq simulations pour la répartition et l'abondance du flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent. a) Données réelles de biomasse pour la période 1990–2013. b) Scénario impliquant uniquement le réchauffement. Les scénarios présentés dans les encadrés c), d) et e) impliquent le même niveau de réchauffement que dans l'encadré b), mais ce réchauffement s'accompagne de différents niveaux de diminution de la teneur en oxygène (c = 1 % de diminution, d = 2 % de diminution et e = 4 % de diminution). f) Scénario avec une baisse de 4 % de la teneur en oxygène, sans réchauffement. Les impacts du réchauffement seul (b) et du réchauffement accompagné d'une baisse de 4 % de la saturation en oxygène dissous (e) semblent similaires avec le codage couleur utilisé, bien que le réchauffement seul ait réduit les aires de haute densité de 49 %, alors que les deux facteurs de stress combinés ont provoqué une réduction de 57 %. Une diminution de l'oxygène dissous sans augmentation de la température ne réduisait la biomasse que de 2 %. Source : Adapté de Stortini et coll., 2017.

### 7.3.4 Acidification

L'acidification des océans est causée par des concentrations plus élevées de CO<sub>2</sub> dans l'air, ce qui augmente la dissolution du CO<sub>2</sub> dans les océans pour créer de l'acide carbonique et dépasse la capacité de l'océan à servir de tampon contre l'augmentation de la concentration en acide. L'une des mesures de l'acidité est le pH, les valeurs plus faibles représentant un niveau d'acidité plus élevé. Depuis la révolution industrielle, le pH des océans de la planète a diminué en moyenne de 0,1 unité de pH, ce qui représente une augmentation de 26 % du nombre d'ions hydrogène, et il devrait encore diminuer de 0,4 unité de pH d'ici 2100 dans le cadre d'un scénario de fortes émissions (RCP8.5) (Ciais et coll., 2013). De nombreuses études ont montré que les espèces commerciales importantes de poissons, mollusques, crustacés et gastéropodes peuvent subir des effets négatifs lorsqu'elles sont exposées à des eaux acidifiées (Alin et coll., 2019; Parker et coll., 2013; Kroeker et coll., 2010). L'acidification des océans a déjà eu un impact colossal sur les mollusques et crustacés, où les changements dans la chimie des carbonates de l'eau de mer modifient la façon dont les mollusques et crustacés juvéniles (larves) construisent leur coquille, et peuvent provoquer la dissolution de la coquille, des difformités, une croissance lente et même la mort (Waldbusser et coll., 2015; Gazeau et coll., 2013). Les impacts de l'acidification des océans sur l'aquaculture des mollusques et crustacés sont évidents grâce aux liens manifestes entre les concentrations élevées de CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer et le faible développement larvaire des huîtres creuses du Pacifique dans l'industrie des mollusques et crustacés des États-Unis (Barton et coll., 2012). Les éclosiers de mollusques et de crustacés produisant des huîtres juvéniles pour l'ensemencement sur le terrain ont été gravement touchés, entraînant des pertes d'argent et d'emplois (Ekstrom et coll., 2015). Dans l'Atlantique, des recherches sont en cours pour examiner les impacts de l'acidification des océans sur le homard américain, qui a une grande valeur commerciale (voir l'étude de cas 7.5).

#### Étude de cas 7.5 : Les impacts de l'acidification des océans sur la production de homard au Canada atlantique

La pêche au homard est la plus lucrative du Canada atlantique. Les principales zones de production de homard dans le golfe du Maine, la baie de Fundy et la plate-forme Scotian sont très sensibles à l'acidification des océans en raison de la faible capacité tampon régionale et des apports en nutriments provenant des côtes (Gledhill et coll., 2015). Des études sur l'acidification des océans portant sur les premières phases larvaires (stades I à IV) (Keppel et coll., 2012) et les premiers juvéniles de la phase benthique (McLean et coll., 2018) ont révélé un ralentissement de la croissance et une augmentation du temps entre les mues dans des conditions d'eau de mer plus acides. Un pH faible peut également provoquer des difformités chez les larves de homard (voir la figure 7.7). Lorsque les homards sont plus petits et qu'ils demeurent plus longtemps en phase pélagique, la probabilité de prédation augmente, ce qui peut limiter le recrutement benthique (Keppel et coll., 2012). Le retard de croissance des juvéniles benthiques augmente également la susceptibilité à la prédation (McLean et coll., 2018) et affecte en définitive la dynamique des populations. Les homards benthiques juvéniles vivant dans des conditions acidifiées sont également plus sensibles aux maladies de la carapace (McLean et coll., 2018).



Figure 7.7 : Un homard américain au stade IV de développement sain élevé dans des conditions ambiantes (en bas) et une larve de homard déformée au stade IV de développement dans des conditions acidifiées (en haut). Le homard acidifié est plus petit et ses pinces ont été perdues en raison du stress environnemental. Photos d'une étude récente à la station biologique de St. Andrews, Pêches et Océans Canada.

Le réchauffement aura également une incidence sur les populations de homards dans d'autres régions de l'Est du Canada. Les larves sont particulièrement sensibles au réchauffement (Waller et coll., 2017). Les homards sédentaires tolèrent mieux le réchauffement, dont on prévoit qu'il aura un impact neutre ou positif sur le homard dans les zones extracôtières de la plate-forme Scotian (Greenan et coll., 2019b). Il est probable que ce soit le cas au large de Terre-Neuve ainsi que dans le golfe du Saint-Laurent, sauf dans certaines parties du détroit de Northumberland où les températures peuvent dépasser 23,5 °C, seuil que le homard évite (Wilson et Swanson, 2005; Crossin et coll., 1998). De plus, une adaptation de la gestion est possible : la protection des grands individus a été proposée comme stratégie d'adaptation pour réduire l'impact du réchauffement (Le Bris et coll., 2018).

### 7.3.5 Aller de l'avant

Les stocks de poissons sont évalués en utilisant les meilleures preuves disponibles, produites par la recherche fondamentale et en utilisant des programmes de recherche et de surveillance. Les données qui en résultent sont utilisées pour créer des modèles prévisionnels physiques qui permettent une compréhension à plus long terme des changements climatiques. Les liens connus entre l'abondance des espèces et les variables environnementales peuvent être utilisés pour évaluer la vulnérabilité des espèces au réchauffement (Stortini et coll., 2015), pour faire des projections sur les futurs habitats disponibles et pour faciliter l'adaptation planifiée aux changements de répartition et de productivité (Stortini et coll., 2017; Marras et coll., 2015; Shackell et coll., 2014).

La gestion des pêches combine les recommandations scientifiques avec l'information sociale et économique pour prendre des décisions concernant la pêche. Le Canada a lancé un processus visant à intégrer les changements climatiques dans les recommandations scientifiques sur la pêche, en mettant en premier lieu l'accent sur le processus d'évaluation des stocks dans le cadre de la gestion écosystémique (Pêches et Océans Canada, 2018e). Les stocks commerciaux sont évalués et gérés au sein d'unités de zone de stock, des frontières séparant des stocks distincts. Les changements climatiques ajoutent un niveau de complexité supplémentaire au processus d'évaluation et de gestion, dans la mesure où nous anticipons des changements dans la répartition et la productivité à l'intérieur et au-delà des frontières. Une meilleure compréhension de l'impact des multiples facteurs de stress sur les poissons et les invertébrés aquatiques permettra de développer des modèles plus réalistes de l'abondance et de la répartition futures des espèces commerciales, fournissant ainsi une base scientifique plus solide pour les stratégies de gestion des ressources.

## 7.4 Les changements climatiques apportent des avantages et présentent des menaces pour le secteur de l'agriculture

**Les changements climatiques apportent à la fois des opportunités et des défis au secteur agricole canadien. L'allongement des saisons de croissance et la possibilité de produire des cultures plus au nord pourraient profiter à l'agriculture, tandis que les changements dans la disponibilité de l'eau, les phénomènes météorologiques extrêmes et les organismes nuisibles et les maladies présenteront des défis. Les mesures d'adaptation qui renforcent la résilience aux changements climatiques et tiennent compte des liens entre l'agriculture et les secteurs qui y sont liés, tels que la gestion de l'eau et les transports, seront bénéfiques tant pour la durabilité locale que pour la sécurité alimentaire mondiale.**

*L'agriculture est intrinsèquement sensible aux changements climatiques. L'augmentation des températures, les transformations des régimes de précipitations et les changements dans la fréquence et l'intensité de certains événements climatiques extrêmes affecteront les cultures et les élevages, à la fois en amplifiant les risques*

existants et en apportant de nouveaux risques et de nouvelles opportunités. Le type et le degré des impacts varieront selon les régions agricoles et les systèmes de production. P. ex., l'abondance croissante des espèces d'insectes et de maladies et le risque accru de nouveaux organismes nuisibles et de nouvelles maladies auront un impact sur la santé des cultures et du bétail et pourraient accroître le risque de barrières commerciales. Des risques supplémentaires découlent de la forte dépendance du secteur à l'égard des systèmes de transport pour maintenir l'accès aux marchés, des systèmes qui sont eux-mêmes vulnérables aux impacts des changements climatiques. Les améliorations apportées aux pratiques de gestion à la ferme, notamment l'amélioration de la gestion des engrais, l'adoption de pratiques de culture sans labour afin de minimiser la perturbation des sols et l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ont renforcé la résilience aux changements climatiques du secteur et illustrent une forte capacité d'adaptation.

### 7.4.1 Introduction

Bien que le secteur agricole canadien soit intrinsèquement adaptatif (Campbell et coll., 2014), sa capacité d'adaptation est mise à l'épreuve par les impacts des changements climatiques, notamment par un déplacement vers le nord de la répartition de nombreuses espèces d'insectes et de maladies et de nouvelles espèces invasives. Les changements dans les configurations de température et les régimes de précipitations, examinés de manière exhaustive dans Zhang et coll. (2019), entraîneront des changements dans la répartition des cultures. Malgré le fait que les précipitations soient appelées à augmenter pour l'ensemble du Canada, des régions telles que le sud des Prairies et l'intérieur de la Colombie-Britannique devraient connaître des déficits hydriques accrus pendant la saison de croissance (Zhang et coll., 2019), ce qui accroîtra l'importance de l'irrigation et d'une bonne gestion de l'eau.

L'agriculture canadienne est également très dépendante de la fiabilité des réseaux de transport pour garantir que les intrants (p. ex. les semences, le carburant, les engrais, les produits et équipements de lutte contre les organismes nuisibles) soient livrés de manière efficace, rentable et dans des délais convenables et pour maintenir l'accès aux marchés intérieurs et internationaux. Les inondations et autres phénomènes météorologiques extrêmes mettront à rude épreuve le système canadien de manutention et de transport des grains (Phillips et Towns, 2017).

Les améliorations apportées au cours des vingt-cinq dernières années ont rendu le secteur agricole canadien plus résilient aux changements climatiques (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »; Campbell et coll., 2014). Une attention accrue a été accordée à la collaboration entre les producteurs, les chercheurs et les décideurs au sein de secteurs interconnectés pour évaluer les impacts et mettre en œuvre de nouvelles mesures d'adaptation, ce qui contribuera à accroître la durabilité du secteur. Cette section examine les récents développements dans la compréhension des impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Canada et les interconnexions essentielles entre l'agriculture et le transport. Une discussion plus approfondie de l'agriculture dans un contexte régional peut être trouvée dans les chapitres régionaux (voir les chapitres « Provinces de l'Atlantique », « Ontario », « Québec », « [Provinces des Prairies](#) » et « Colombie-Britannique »).

## 7.4.2 Risques climatiques et planification de l'adaptation régionale

La compréhension des risques climatiques pour l'agriculture est éclairée par la saisie des données climatiques observées et projetées dans les modèles agricoles (p. ex. pour les cultures, le bétail, les organismes nuisibles et les maladies) afin de définir les impacts physiques et économiques potentiels. La planification et la mise en œuvre sont nécessaires à différentes échelles pour cibler et déterminer les mesures à prendre dans l'ensemble des chaînes de valeur agricoles, pour renseigner sur les impacts sur les exploitations agricoles et pour déterminer les mesures d'adaptation appropriées.

L'analyse des impacts des changements climatiques sur la production agricole au Canada, résumée précédemment par Campbell et coll. (2014), continue de s'améliorer. Selon les scénarios à émissions moyennes (RCP4.5) et à fortes émissions (RCP8.5), la production de blé (la culture la plus importante au Canada et celle dont la valeur d'exportation est la plus élevée) et d'autres grains semés au printemps devrait augmenter de 8 à 11 % d'ici les années 2050 (2041–2070), par rapport à une période de référence de 2006–2015, dans la plupart des régions agricoles du Canada (Qian et coll., 2019; He et coll., 2018). Un stress thermique accru pourrait réduire les rendements du canola dans le sud des Prairies, ce qui entraînera probablement un déplacement vers le nord des zones de production agricole (Qian et coll., 2018). Les impacts climatiques sur la production de maïs et de soja au Canada demeurent moins concluants, certaines études montrant une meilleure viabilité dans les provinces de l'Atlantique et dans le Centre du Canada, et des opportunités d'expansion dans les Prairies, à condition que les limites hydriques ne soient pas trop restrictives (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »; Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2018; He et coll., 2018; Schauburger et coll., 2017; Sauchyn et Kulshreshtha, 2008).

De graves déficits hydriques sont prévus d'ici les années 2050 pour certaines régions du Canada selon un scénario de fortes émissions (voir la figure 7.8), qui affecteront particulièrement les cultures de grains semées au printemps, comme le blé et l'orge. La rareté de la ressource en eau serait amplifiée par une demande accrue d'eau de la part d'autres secteurs, en particulier là où l'irrigation et l'accès à l'eau sont déjà des contraintes importantes sur la durabilité de l'agriculture. Les changements climatiques devraient augmenter la variabilité de l'approvisionnement en eau et mettre à rude épreuve les systèmes d'irrigation, de drainage et de contrôle des inondations. Par exemple, les eaux de fonte des glaciers, qui représentent environ 10 % du débit estival du fleuve Columbia et de la rivière Bow, seront réduites à presque zéro au cours des 50 à 60 prochaines années à mesure que les glaciers disparaîtront (Derksen et coll., 2019; Fyfe et coll., 2017). La fonte des eaux glaciaires est très importante pour le maintien des débits estivaux dans les rivières de l'Ouest du Canada, pendant la période clé de croissance. L'augmentation de l'efficacité de l'irrigation et de l'utilisation de l'eau dans les exploitations agricoles est un mécanisme d'adaptation essentiel. Actuellement, l'irrigation est pratiquée sur 1,1 million d'hectares des 44 millions d'hectares de terres arables du Canada (2,27 %). Bien qu'il y ait de l'irrigation dans toutes les provinces, plus de 90 % se trouvent en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique.

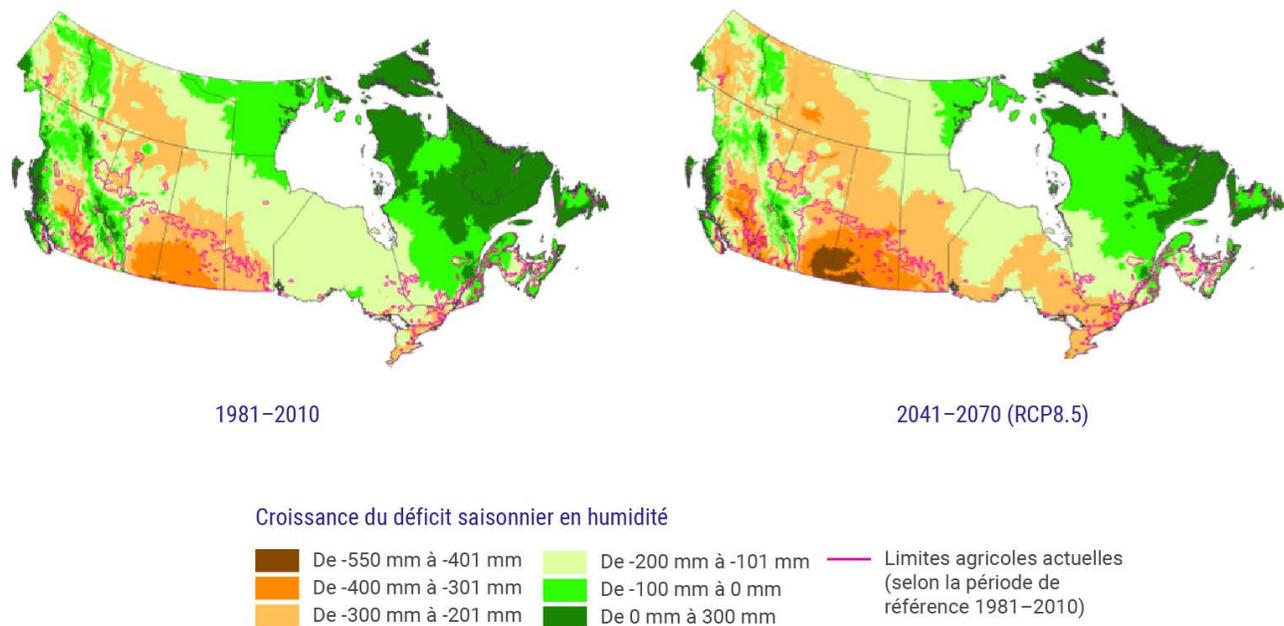


Figure 7.8 : Le déficit hydrique de la saison de croissance (précipitations moins évapotranspiration potentielle) au Canada pour la période 1981-2010 et pour la période 2041-2070, tel que prévu dans le cadre d'un scénario de fortes émissions (RCP8.5). Dans la plupart des régions, l'augmentation des précipitations est plus que contrebalancée par l'augmentation de la température et de l'évaporation associée, ce qui entraîne des déficits hydriques plus importants. Source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2018.

Les risques posés par les maladies animales et les ravageurs des plantes augmentent en raison des changements climatiques, la probabilité d'introduction de nouvelles espèces exotiques envahissantes (EEE) au Canada ayant des conséquences importantes pour le secteur agricole et l'économie du pays. On estime que les espèces envahissantes causent actuellement des pertes annuelles mesurables de 4,2 milliards de dollars au secteur agricole canadien (Agriculture et Agroalimentaire Canada et Agence canadienne d'inspection des aliments, 2008). Celles-ci sont liées à la réduction des rendements de récolte et des revenus, à l'augmentation des coûts de contrôle des EEE, à la perte d'accès aux marchés intérieurs ou d'exportation, ainsi qu'à la diminution de la biodiversité indigène résultant de la concurrence pour les ressources.

La modélisation de l'expansion des ravageurs et des maladies dans un climat en changement indique que les aires de répartition de l'altise des navets, *Phyllotreta striolata* (Fabricius), et de l'altise des crucifères, *P. cruciferae*, toutes deux des EEE en Amérique du Nord, devraient se déplacer et causer des pertes économiques potentielles sur une superficie élargie à l'avenir (Olfert et coll., 2017). L'augmentation des températures hivernales a contribué à accroître la survie hivernale de certains insectes nuisibles (Olfert et coll., 2016) et de certains agents pathogènes, notamment la rouille des céréales dans la région des Prairies (Xi et coll., 2015; Kumar et coll., 2013). Le lien entre les changements climatiques et l'expansion rapide vers le

Nord et l'Ouest de l'aire de répartition de la tique du chevreuil ou tique à pattes noires (*Ixodes scapularis*), qui transmet l'agent de la maladie de Lyme pouvant infecter le bétail et autres animaux d'élevage, ainsi que les humains, est bien documenté (Ogden et coll., 2014). La fièvre catarrhale du mouton, une maladie virale des ruminants transmise par le moucheron piqueur *Culicoides sonorensis*, s'étend du sud-ouest des États-Unis au sud de la Colombie-Britannique et de l'Alberta (Lysyk et Dergousoff, 2014), et s'est récemment étendue au sud de l'Ontario (Jewiss-Gaines et coll. 2017). Les modèles de distribution des espèces basés sur différents scénarios de changements climatiques indiquent que l'aire de répartition de *C. sonorensis* devrait s'étendre vers le Nord en Alberta (Zuliani et coll., 2015).

Les obstacles à l'adaptation dans le secteur agricole (voir la figure 1 de Campbell et coll., 2014) comprennent généralement un manque de connaissance des impacts climatiques, une capacité technique limitée pour évaluer les risques agricoles à une échelle appropriée et des incertitudes associées aux impacts climatiques anticipés et aux mesures d'adaptation (Groupe de travail sur l'adaptation en agriculture, 2016). Les récents efforts déployés par le secteur agricole pour évaluer les risques climatiques et envisager des mesures d'adaptation, tant au niveau régional qu'au niveau des exploitations agricoles, ont commencé à permettre de surmonter ces obstacles. On peut citer comme exemple l'évolution de la méthodologie d'évaluation des risques climatiques et de la planification de l'adaptation agricole au Québec (Ouranos, 2015), au Manitoba (Goertzen, 2018), en Nouvelle-Écosse (Nova Scotia Federation of Agriculture, 2018) et en Colombie-Britannique (ministère de l'Environnement et de la Stratégie sur les changements climatiques de la Colombie-Britannique, 2019). La poursuite des travaux pourrait encore améliorer la compréhension des risques, la sensibilisation du secteur agricole aux impacts climatiques et les mécanismes de soutien aux mesures d'adaptation. De nouvelles connaissances continueront à éclairer des initiatives telles que le Cadre de gestion des urgences en agriculture (Groupe de travail sur le Cadre de gestion des urgences fédéral, provincial et territorial, 2016), qui comprend des éléments permettant de gérer de manière proactive le risque croissant que représentent les organismes nuisibles et les maladies et les problèmes de risques commerciaux éventuels connexes.

### 7.4.3 Interconnectivité

Le succès de la production agricole au Canada est fortement dépendant des connexions avec les réseaux de transport. Un réseau de transport fiable permet la livraison efficace des intrants nécessaires (tels que les semences, le carburant, les engrais et les équipements agricoles), ainsi que l'accès aux marchés d'exportation. Les changements climatiques présentent un large éventail de risques pour les réseaux de transport au Canada (voir la section 7.7; Palko et Lemmen, 2017), notamment les dommages causés aux infrastructures par les précipitations extrêmes et les inondations, les impacts liés à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations dues aux ondes de tempête dans les terminaux portuaires, le risque accru de flambage des voies ferrées en raison de la chaleur extrême, la fissuration des routes en raison de la dessiccation des sous-sols argileux pendant les périodes de sécheresse et les affouillements pendant les inondations. Tous ces impacts peuvent provoquer des retards dans le transport qui ont un impact négatif sur la chaîne de valeur du secteur agricole (p. ex. les agriculteurs, les transformateurs, les fournisseurs, etc.) de l'échelle locale à l'échelle internationale.

Le système de manutention et de transport des grains au Canada subit fréquemment les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes. Par exemple, des précipitations excessives à Vancouver entre janvier et mars 2011 et des phénomènes météorologiques violents dans les couloirs ferroviaires de montagne de la Colombie-Britannique ont contribué à de longs retards dans le chargement des grains sur des bâtiments dans les ports de Vancouver (Quorum Corporation, 2014). En 2013 encore, les totaux records de récoltes dans les provinces des Prairies, suivis par des conditions hivernales extrêmement froides, ont contribué aux retards de transport pour atteindre les marchés. De tels retards ont un impact sur la réputation du Canada en tant que fournisseur fiable de produits agricoles et entraînent des coûts supplémentaires tant pour les entreprises céréalères que pour les producteurs (Gray, 2015; Quorum Corporation, 2015).

L'importance des marchés d'exportation pour le secteur agricole canadien ne peut être surestimée, environ 42 % de sa production annuelle étant expédiée hors du pays. En 2013, le Canada était le cinquième exportateur mondial de produits agricoles et agroalimentaires (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2016), ses exportations représentant 85 % du canola et de ses produits dérivés, 85 % du lin, 66 % du soja et de ses produits dérivés, 65 % du porc et de ses produits dérivés, et 48 % du bétail et des produits bovins. Au cours des dix dernières années, la moitié de la production céréalère canadienne a été exportée, avec une moyenne de 41 millions de tonnes par an. Les ventes à l'exportation de produits agroalimentaires en 2017 ont totalisé 57,7 milliards de dollars (Alliance canadienne du commerce agroalimentaire, 2020). Si les impacts régionaux des changements climatiques sur la production agricole au Canada vont être importants, ils devraient être beaucoup plus importants dans la plupart des autres grandes régions agricoles du monde (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, 2017; Ignaciuk et Mason-D'Croz, 2014). Cela représente à la fois une opportunité pour les producteurs canadiens (Ignaciuk et Mason-D'Croz, 2014) et un besoin critique en ce qui concerne la sécurité alimentaire mondiale (Mbow, 2019).

#### 7.4.4 Aller de l'avant

Les mécanismes qui soutiennent la capacité régionale à utiliser et à interpréter les informations sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques améliorent la capacité du secteur à planifier et à mettre en œuvre de manière proactive des mesures d'adaptation. Il est également de plus en plus important pour le secteur de collaborer avec d'autres secteurs pertinents, notamment le transport et la gestion de l'eau, sur des enjeux d'adaptation communs. Des initiatives telles que Guetter la sécheresse (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019), qui fournit des informations sur les risques climatiques actuels et offre un mécanisme permettant aux producteurs de soumettre des détails sur les impacts ressentis au niveau des exploitations agricoles, constituent un pas important pour renforcer l'engagement et la collaboration.

## 7.5 Les changements climatiques posent des nouveaux défis environnementaux pour l'exploitation minière

**Les impacts sur la stabilité chimique et physique des structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites sont parmi les plus grands défis liés aux changements climatiques pour l'industrie minière canadienne. La défaillance de telles structures peut entraîner une grave contamination de l'environnement et présenter des risques pour les collectivités et les écosystèmes environnants. La prise en compte des changements climatiques à long terme dès la phase de conception des projets miniers est nécessaire pour réduire ces risques.**

*Les changements climatiques peuvent affecter chaque phase du cycle de vie d'une mine. Si les défis à court terme, tels que les impacts sur les opérations quotidiennes et la perturbation des chaînes d'approvisionnement essentielles, nécessitent des mesures d'adaptation, les impacts sur les structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites représentent des vulnérabilités majeures pour l'industrie minière canadienne. Les structures de retenue des résidus miniers et de restauration des sites doivent rester en place pendant de nombreuses décennies, voire des siècles, ce qui accroît leur vulnérabilité aux changements climatiques. Si la conception actuelle de ces structures tient compte à la fois des conditions historiques moyennes et extrêmes, elle ne rend pas compte de manière adéquate de toute la gamme des conditions futures probables. Les priorités en matière d'adaptation comprennent l'intégration des projections en matière de changements climatiques dans les conceptions futures, le renforcement de la surveillance des structures existantes et la mise au point de nouvelles méthodes et de nouveaux outils pour améliorer la résilience aux changements climatiques.*

### 7.5.1 Introduction

L'exploitation minière est une composante majeure de l'économie canadienne, de par les activités minières qui ont lieu dans tous les provinces et les territoires. Les impacts des changements climatiques sur le secteur minier sont à la fois directs et indirects, avec un potentiel d'incidence sur chaque phase du cycle de vie d'une mine (Bussière et coll., 2017; Pearce et coll., 2011; Stratos, 2009). Dans de nombreux cas, les changements climatiques exacerberont les risques climatiques existants et en créeront de nouveaux, mais ils offriront également de nouveaux débouchés (Stratos, 2017, 2009; Bussière et coll., 2017; Pearce et coll., 2011). Par exemple, pendant la phase d'exploration, la période plus courte de gel du sol rendra difficile l'accès à certains sites d'exploration. En revanche, une saison chaude plus longue laissera plus de temps pour la cartographie et la livraison des matières premières par bateau ou par hydravion.

Un aperçu des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur minier canadien par Lemmen et coll. (2014) a mis en évidence les risques pour les infrastructures bâties, le transport, l'extraction et le traitement, ainsi que pour les opérations quotidiennes. Les phases de projet les plus touchées sont la gestion des résidus miniers pendant l'exploitation et la restauration des aires de stockage des déchets. Ces

deux phases ont une longue durée de vie, et les considérations climatiques sont donc intégrées dans leur conception (Bussière et coll., 2017). Lemmen et coll. (2014) ont également noté un manque de planification proactive de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur, une conclusion soutenue par une analyse ultérieure qui a trouvé peu de preuves que les politiques gouvernementales ou d'entreprises aient progressé en matière de prise en compte des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques (Stratos, 2017).

Cette section s'appuie sur de précédentes évaluations canadiennes en se concentrant sur ce qui est apparu comme une vulnérabilité climatique fondamentale du secteur minier canadien : les risques pour la stabilité physique et chimique des structures conçues pour contenir les résidus miniers pendant et après les activités minières, et le risque pour l'efficacité à long terme des méthodes de restauration des sites (Bussière et coll., 2017; Stratos, 2017).

## 7.5.2 Structures de retenue des résidus miniers

Les résidus miniers, composés de roches finement concassées et d'eau, sont stockés dans des bassins de résidus qui sont généralement situés en surface, à proximité de la mine (Blight, 2010; Bussière, 2007; Bussière et coll., 2005; Aubertin et coll., 2002). Le but de ces bassins est de contenir le plus grand volume possible de déchets solides et de permettre le transfert de tout débordement dans un ou plusieurs bassins secondaires (appelés bassins de décantation ou lagune de finition). Ces structures sont généralement créées par la fermeture d'une vallée naturelle ou le bouclage d'une zone existante à l'aide d'une ou plusieurs digues. Ceux-ci sont équipés de systèmes de drainage permettant de réutiliser ou de traiter l'eau, une fois les solides déposés, avec des déversoirs pour contrôler les effluents pendant les périodes de précipitations extrêmes (Blight, 2010; Aubertin et coll., 2002). Étant donné la forte teneur en eau et la faible densité de la plupart des résidus miniers, la stabilité physique de ces structures est difficile à maintenir à court et à long terme. Les structures sont fréquemment modifiées tout au long de la phase d'extraction d'une mine (généralement quelques décennies) pour s'adapter à l'évolution des conditions d'exploitation.

Les approches actuelles de la conception des structures de retenue des résidus tiennent compte des paramètres climatiques moyens et extrêmes, tels que les précipitations maximales probables (PMP) et les crues maximales probables (CMP) (Aubertin et coll., 2015). Les paramètres PMP et CMP sont basés sur des analyses de fréquence des données climatiques historiques et ont une faible probabilité de récurrence annuelle (Association canadienne des barrages, 2013; Aubertin et coll., 2011; Koutsoyiannis, 1999). L'utilisation des CMP est recommandée lors de la conversion en structures permanentes à la fermeture d'une mine, afin d'éviter les ruptures et les conséquences environnementales, humaines et matérielles potentielles (Centre d'expertise hydrique du Québec, 2019; Association canadienne des barrages, 2013; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012; Aubertin et coll., 2002, 1997; Vick, 2001). Il est important de noter qu'il n'existe actuellement aucune approche méthodologique uniforme pour prendre en compte les changements climatiques dans les calculs des PMP et des CMP.

La fréquence et l'intensité des phénomènes de précipitations extrêmes, ainsi que les niveaux de précipitations annuelles moyennes, devraient augmenter dans la plupart des régions dans l'ensemble du Canada (Zhang et coll., 2019), augmentant le risque d'instabilité physique des structures de retenue des déchets miniers

(Bussière et coll., 2017; Guthrie et coll., 2010; Jakob et Lambert, 2009). La récupération des déchets déversés à la suite d'une rupture de digue est difficile et coûteuse. Par exemple, la défaillance du bassin de résidus de la mine d'Aznalcollar en Espagne en 1998 a entraîné des coûts de restauration du site estimés à environ 230 millions de dollars US (Eriksson et Adamek, 2000). Dans le Nord du Canada, la hausse des températures entraîne une dégradation du pergélisol et une augmentation de la profondeur du dégel annuel (couche active) (Derksen et coll., 2019; Arzhanov et Mokhov, 2013; Zhang et coll., 2008a, b). En conséquence, l'intégrité et la stabilité des structures de rétention des déchets peuvent être compromises. L'augmentation de l'épaisseur de la couche active peut créer des problèmes pour trouver des sites de construction appropriés pour les infrastructures minières. Il convient de noter que les technologies permettant de construire sur le pergélisol existent et que les lignes directrices pertinentes sont bien documentées (Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier, 2012; Doré et Zubeck, 2009; Andersland et Ladanyi, 2003).

### 7.5.3 Restauration des sites miniers

La restauration des sites miniers consiste notamment à empêcher les contaminants tels que le drainage minier acide (DMA) de s'échapper dans l'environnement (Blowes et coll., 2003). Cela est rendu possible par le maintien de la stabilité chimique à long terme des déchets miniers, car le DMA résulte de l'oxydation des minéraux sulfurés lorsqu'ils entrent en contact avec l'eau et l'oxygène atmosphérique. Les méthodes spécifiques de restauration pour prévenir le DMA sont fortement influencées par les conditions climatiques (voir l'encadré 7.1 et l'étude de cas 7.6).

#### Encadré 7.1 : Principales méthodes de restauration utilisées au Canada

La restauration des sites de déchets miniers au Canada utilise souvent des couvertures pour empêcher le drainage minier acide (DMA) (voir la figure 7.9). Dans les climats allant de semi-arides à arides, comme le sud des provinces des Prairies et certaines parties du centre-sud de la Colombie-Britannique, où le taux d'évaporation potentielle est élevé et les précipitations annuelles faibles, les systèmes de restauration visent à réduire l'infiltration des précipitations dans les résidus miniers qui pourraient générer un drainage contaminé. Dans les climats humides, comme en Ontario et dans le sud du Québec, où le taux d'évaporation potentiel est relativement faible avec des précipitations annuelles élevées, il faut également créer des barrières pour contrôler la migration de l'oxygène. Dans les climats arctiques et subarctiques avec pergélisol permanent, le contrôle du drainage minier contaminé consiste généralement à maintenir les déchets réactifs à basse température en appliquant des couvertures isolantes qui utilisent les propriétés hydrothermales du matériau (applicable pour des températures annuelles moyennes inférieures à -7 °C; Holubec, 2004). Certaines techniques utilisées dans des climats plus tempérés (p. ex. les inondations, les couvertures imperméables) peuvent également être appliquées pour lutter contre le DMA dans les régions froides (voir la figure 7.9; Aubertin et coll., 2016, 2015).

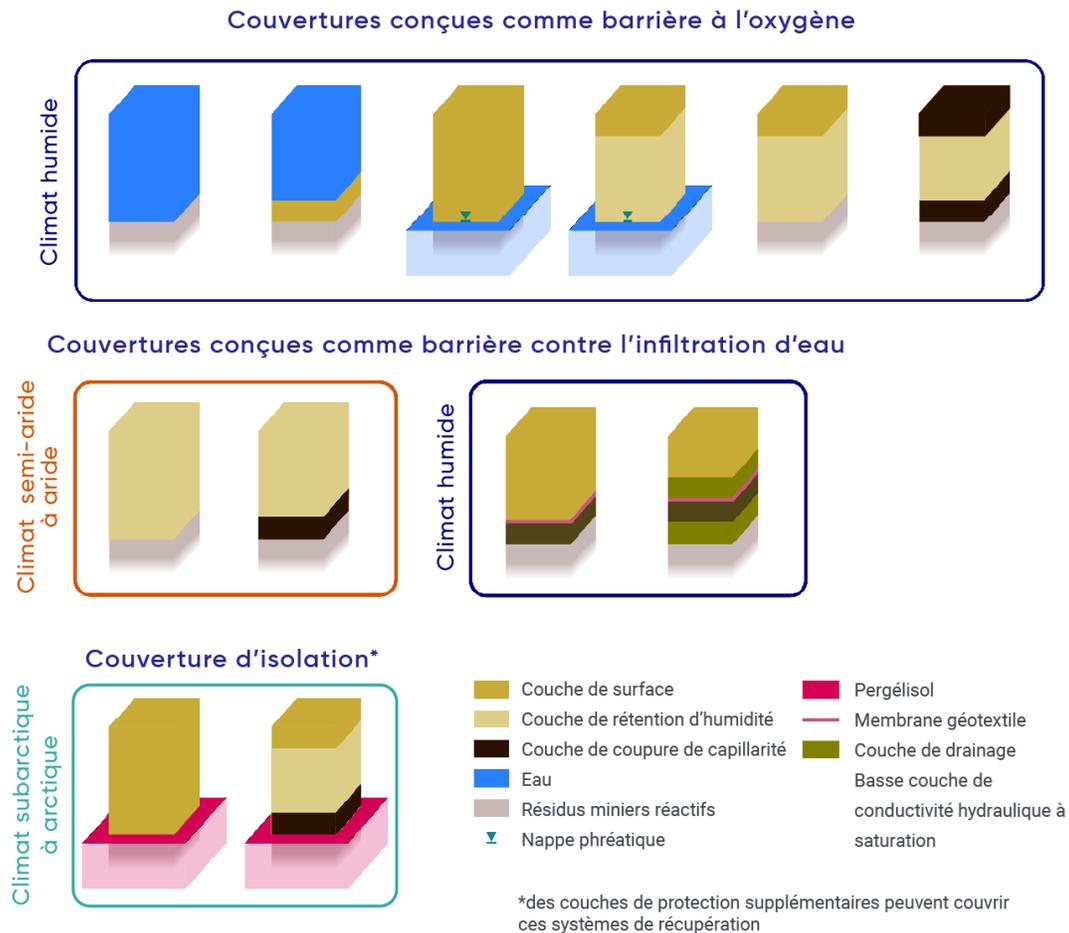


Figure 7.9 : Principales méthodes de restauration utilisées au Canada. Les méthodes sont conçues pour traiter les problèmes critiques qui diffèrent selon les régions climatiques. Source : Adapté de Bussière et coll., 2017.

## Étude de cas 7.6 : Restauration du site minier de Lorraine, au Québec

Le site minier de Lorraine, dans l'ouest du Québec, a été opérationnel de 1964 à 1968. Le bassin de résidus sur ce site couvre une superficie de 15,5 hectares et a été abandonné pendant environ 30 ans. Au cours de cette période, un important drainage minier acide (DMA) a été produit. Pour réduire l'impact environnemental du DMA, un projet de restauration a été entrepris à l'été 1998 (Bussière et coll., 2009; Nastev et Aubertin, 2000). Divers enjeux ont été pris en compte dans le choix de la conception la plus appropriée, notamment le climat local, les caractéristiques géochimiques des résidus miniers et la disponibilité des matériaux non consolidés. La région reçoit des précipitations annuelles importantes (900–1000 mm) et le taux d'évaporation

est faible (400–500 mm). Dans un climat aussi humide, le contrôle de la génération de DMA se concentre sur la réduction de la migration de l'oxygène plutôt que sur l'utilisation d'une barrière à eau (voir l'encadré 7.1). L'approche de restauration recommandée pour ce site était la construction d'une couverture avec effet de barrière capillaire (CEBC) pour limiter la migration de l'oxygène dans les déchets réactifs.

Ce site est surveillé depuis la construction du CEBC. Les mesures effectuées sur le site montrent qu'après une période transitoire de deux ans (1999–2000), le CEBC a été en mesure de limiter efficacement la migration de l'oxygène (voir la figure 7.10; Bussière et coll., 2009; Dagenais et coll., 2001). Les flux d'oxygène mesurés sont même inférieurs à l'objectif visé lors de la conception. Une modélisation numérique intégrant les changements climatiques a été menée pour évaluer la performance de la remise en état sur le long terme. Les résultats montrent que, dans ce cas particulier, les changements climatiques n'auront pas d'impact significatif sur les performances du CEBC d'ici 2100 (Hotton et coll., 2019).



Figure 7.10 : Évolution du site minier de Lorraine, au Québec, restauré à l'aide d'une couverture avec effets de barrière capillaire. a) Avant la restauration, b) Après la restauration de 1998 et c) le site en 2007. Source : Adapté de Bussière et coll., 2009.

L'efficacité à long terme des systèmes de restauration est affectée par de nombreux facteurs (Aubertin et coll., 2015, 2002) liés aux propriétés des matériaux de couverture, à la configuration et à l'emplacement de la zone de confinement à remettre en état, ainsi qu'aux changements climatiques. Comme la durée de vie requise des structures de restauration est supérieure à 100 ans, c'est l'étape du cycle minier la plus susceptible d'être gravement touchée par les changements climatiques.

Les principaux risques liés aux changements climatiques lors de la remise en état des sites miniers sont la réduction de l'efficacité des couvertures isolantes, des barrières d'infiltration d'eau et des barrières d'oxygène et la défaillance des structures de retenue sur les sites en cours de restauration (voir la figure 7.11; Bussière et coll., 2017; Lemmen et coll., 2014). Les impacts directs des changements climatiques les plus préoccupants sont les suivants : 1) des températures plus élevées qui augmentent la profondeur de la couche active dans les régions subarctiques et arctiques, ce qui pourrait entraîner le dégel des déchets susceptibles de générer du DMA; 2) une augmentation des précipitations extrêmes qui pourrait entraîner la défaillance physique des digues ou d'autres structures lors de l'utilisation des méthodes de restauration telles que la couverture d'eau et les techniques d'élévation de la nappe phréatique et 3) des sécheresses plus longues ou

plus fréquentes qui pourraient compromettre l'efficacité des barrières d'oxygène qui nécessitent des niveaux élevés de saturation dans les résidus miniers ou les couvertures. Les impacts indirects des changements climatiques, tels que les changements de végétation sur les sites revégétalisés qui affectent le bilan hydrique et les propriétés des matériaux de couverture, peuvent également avoir un impact positif ou négatif sur l'efficacité de la restauration à court et à long terme (Guittony et coll., 2018; Reinecke et Brodie, 2012).

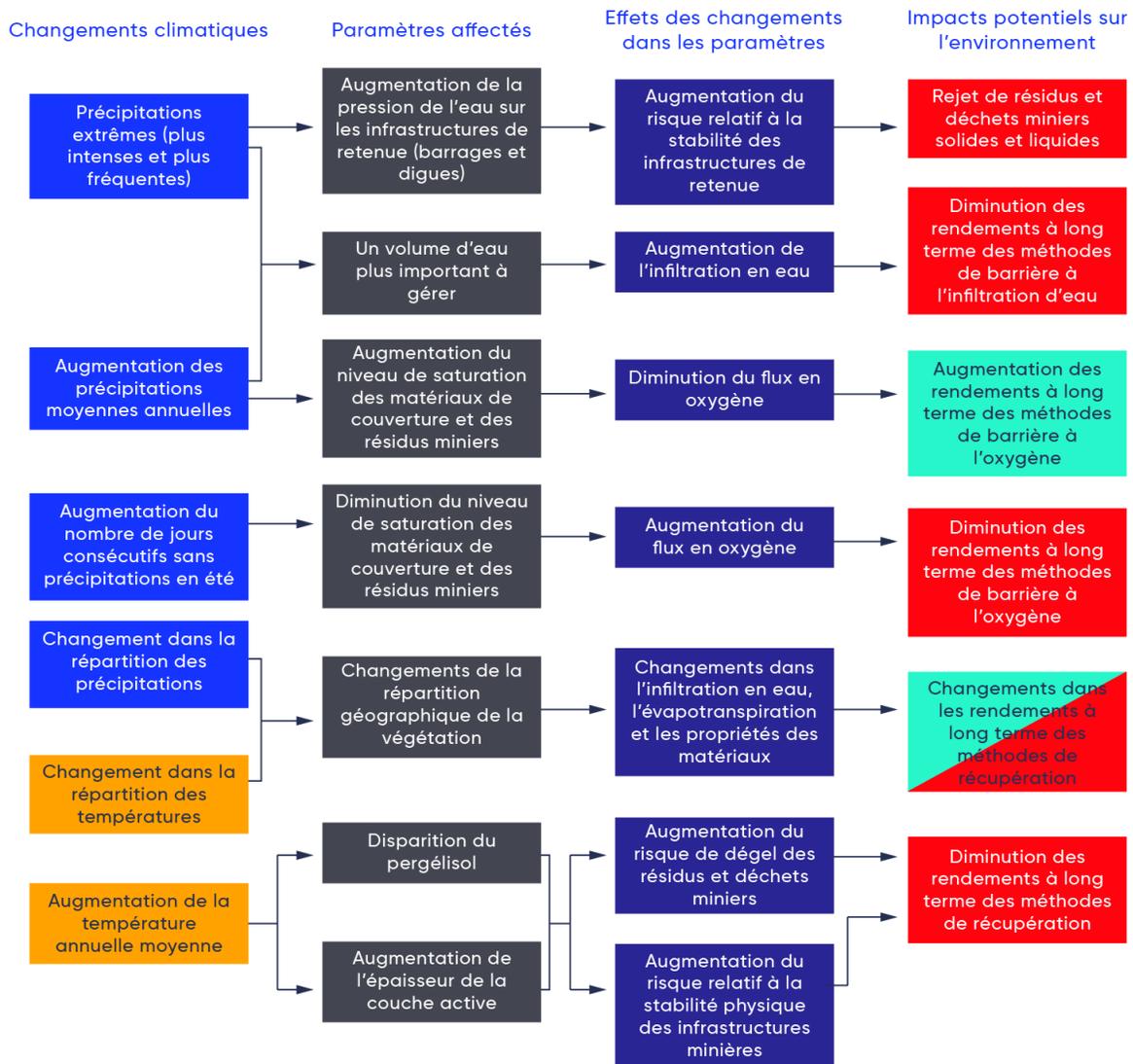


Figure 7.11 : Résumé des principaux changements climatiques attendus et de leurs implications pour les structures de retenue des déchets miniers et de restauration.

## 7.5.4 Adaptation

Le maintien de la stabilité des structures de retenue des résidus représente actuellement un défi majeur pour l'industrie minière lorsqu'elle suit les méthodes de rétention conventionnelles (Aubertin et coll., 2011; Azam et Li, 2010). Les changements climatiques amplifieront ces risques. L'adaptation consistera à envisager des approches qui réduisent la dépendance à l'égard des digues pour retenir de grands volumes d'eau et de pulpe de résidus miniers. Les résidus épaisés ou filtre-pressés pourraient être une option viable (Bussière, 2007). Les approches d'évacuation simultanée des stériles et des résidus miniers pourraient également améliorer la résistance mécanique des structures de retenue des résidus miniers (Aubertin et coll., 2016, 2011; Wilson et coll., 2003). La réutilisation des ouvertures des mines (puits à ciel ouvert ou vides souterrains) pour le stockage des stériles et des résidus peut également contribuer à réduire les problèmes d'instabilité des digues (Aubertin et coll., 2016, 2015). Si les entreprises minières choisissent d'utiliser des méthodes conventionnelles pour le stockage des résidus miniers, les impacts des changements climatiques doivent être intégrés dans l'analyse de la gestion des risques au cours de la phase de conception. Des approches à cet effet sont en cours d'élaboration conjointement avec l'Association minière du Canada et l'Association canadienne des barrages.

Bien que la plupart des gouvernements exigent maintenant de prouver que les changements climatiques ont été pris en compte dans la conception de tout projet de restauration (p. ex. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2012 pour le Québec), l'absence de directives précises sur la façon de modifier les méthodes de restauration dans le contexte des changements climatiques reste un obstacle à une adaptation efficace.

Des outils et des analyses spécifiques sont nécessaires : par exemple, pour éclairer la conception des barrières à l'oxygène, où une sécheresse prolongée pourrait entraîner une désaturation de la couverture, augmentant de ce fait l'entrée d'oxygène (Bresson et coll., 2018; Hotton et coll., 2018). Bien que des études menées au Québec aient simulé une période d'environ deux mois sans apports d'eau (Éthier et coll., 2018; Bussière et coll., 2003), le choix de cette période n'a pas été fondé sur une analyse systématique des données météorologiques et la probabilité qu'un tel événement se produise est inconnue. Il faut avoir des outils pour quantifier l'évolution du risque de sécheresse extrême dont il faut tenir compte dans la conception des barrières à l'oxygène. Pour les sites situés dans des climats froids, où l'augmentation des températures et des précipitations aura un impact majeur sur la performance des méthodes de restauration, le besoin en outils de planification de l'adaptation est particulièrement urgent.

Une meilleure compréhension des impacts locaux est également nécessaire pour éclairer la plantation de végétation pérenne sur les sites de restauration. Au fil du temps, les modifications des écosystèmes induites par les changements climatiques entraîneront des changements dans la répartition des espèces sur les sites, mais les impacts sur l'efficacité à long terme des systèmes de restauration sont largement inconnus (Guittonny et coll., 2018). La surveillance des performances de ces sites, pour documenter si ces changements entraînent une détérioration ou une amélioration du système de restauration, fournirait des informations importantes.

### 7.5.5 Aller de l'avant

Les nouvelles approches et les nouveaux outils qui prennent en compte les changements climatiques dans les processus de planification, de conception et de gestion des risques des activités minières fournissent une base solide à l'industrie minière et aux gouvernements pour réduire la vulnérabilité du secteur aux changements climatiques. Bien que de nombreuses études aient recommandé de tenir compte des changements climatiques dans la gestion des résidus miniers (p. ex. Rousseau et coll., 2014; Stratz et Hossain, 2014; Pearce et coll., 2009; Aubertin et coll., 2002), l'incertitude quant à la prévision des changements, en particulier des phénomènes de précipitations extrêmes (Mailhot et coll., 2014), reste un obstacle à la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Les solutions exigent une collaboration entre les ingénieurs miniers et les services climatiques dans la mise au point des méthodes et des lignes directrices actualisées ou nouvelles, pour évaluer les impacts climatiques qui peuvent être pris en compte dans la conception des structures de retenue des résidus et des méthodes de restauration des sites miniers.

La longévité des structures de retenue des résidus et de restauration des sites augmente leur vulnérabilité aux changements climatiques. La stabilité physique et chimique de ces structures est essentielle pour éviter le rejet de contaminants nocifs dans l'environnement. Des outils et un encadrement sont nécessaires pour permettre aux concepteurs de mieux s'adapter à la fois aux changements de conditions météorologiques extrêmes causés par les changements climatiques et aux changements à évolution lente tels que la dégradation du pergélisol, et pour mettre au point des méthodes de restauration résilientes aux changements climatiques. Dans certains cas, il est possible que, pour un site donné, la « meilleure » solution pour les conditions climatiques actuelles ne soit pas la solution optimale pour les conditions futures. Des structures de retenue des résidus et de restauration mieux conçues aux sites miniers actifs et fermés peuvent réduire considérablement le risque à long terme de contamination de l'environnement. Dans le cas d'infrastructures plus âgées, il serait judicieux de procéder à des analyses pour s'assurer que ces installations seront en mesure de résister aux conditions futures. Dans le cas contraire, des mesures correctives devront être mises en œuvre pour maintenir l'intégrité à long terme de ces structures.

## 7.6 Chaque lien de la chaîne de valeur énergétique peut être vulnérable aux changements climatiques

Un climat en changement affecte la demande d'énergie ainsi que l'entièreté de la chaîne de valeur énergétique, allant de l'exploration et de la production au transport, jusqu'à la distribution. Il est possible d'intégrer les risques climatiques dans la planification actuelle des opérations en considérant les avantages connexes, les options sans regrets et les approches différentielles. Dans la transition vers des filières énergétiques à faibles émissions de carbone, la résilience climatique est une considération primordiale.

*Le réchauffement du climat augmente la demande de climatisation en été et diminue la demande de chauffage en hiver. L'approvisionnement énergétique est sensible à une vaste gamme d'impacts climatiques, dont les changements du pergélisol, de la couche de glace, du niveau de la mer, du régime des vagues, du régime des précipitations, du débit des rivières, ainsi qu'à des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les ouragans et les tempêtes de verglas. Ces impacts peuvent perturber la chaîne de valeur énergétique, entraînant des conséquences économiques et sociales majeures. L'utilisation d'outils examinant les risques climatiques contribue à inscrire l'adaptation au sein des pratiques actuelles de planification des opérations et à déterminer les occasions propices à l'introduction de mesures d'adaptation au moment opportun (p. ex. pendant l'entretien, la rénovation et l'amélioration). Compte tenu des investissements majeurs pour passer à des filières énergétiques à faibles émissions durant les prochaines décennies, il sera important de s'assurer que la résilience aux changements climatiques fera partie de la conception des infrastructures.*

### 7.6.1 Introduction

L'énergie est une composante importante de l'économie canadienne, comptant pour près de 10 % du produit intérieur brut (PIB). Les services essentiels comme le transport, les communications, les systèmes de santé, l'approvisionnement en eau potable, le système d'égout, mais également les ménages et les entreprises, dépendent des filières énergétiques. Leur fiabilité est donc indispensable à l'activité économique et au bien-être au Canada. Les actifs énergétiques ont toujours été exposés à des conditions climatiques hautement variables et extrêmes et ont été construits pour fonctionner correctement sous ces conditions. Cependant, ces actifs ont été construits selon des normes climatiques historiques, soulevant ainsi certaines préoccupations quant à leur résilience face aux changements climatiques en changement. Les changements climatiques observés et projetés qui affectent énormément le Secteur de l'énergie, comme des changements de température et des extrêmes de précipitations (Zhang et coll., 2019), du pergélisol, de la neige et de la glace marine (Derksen et coll., 2019), de l'écoulement fluvial (Bonsal et coll., 2019) et du climat océanique (Greenan et coll., 2019a), sont décrits dans Bush et Lemmen (2019). Les phénomènes extrêmes récents mettent en évidence les vulnérabilités du Secteur de l'énergie, comme les feux de forêt de 2016 à Fort McMurray (Horse River), qui ont dévasté la collectivité et causé une réduction marquée de la production de

sables bitumineux d'environ 47 millions de barils, entraînant une perte de revenus de 1,4 milliard de dollars pour les producteurs (voir l'étude de cas 7.1; Antunes et coll., 2016; Office national de l'énergie, 2016).

Le climat en changement a également des impacts directs et indirects sur la demande d'énergie. Des hivers plus chauds réduisent la demande de combustibles fossiles et d'électricité pour le chauffage (Mantle314, 2019), alors que l'augmentation des jours chauds en été gonfle la demande d'électricité pour la climatisation (Ortiz et coll., 2018; Jaglom et coll., 2014). Les impacts indirects sont associés aux interventions sociétales et gouvernementales pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, interventions qui entraînent des impacts divergents sur les sources d'énergie renouvelable et non renouvelable (Agence internationale de l'énergie, 2016a).

Les évaluations antérieures des impacts des changements climatiques et de l'adaptation ont souligné la diversité du Secteur de l'énergie du Canada, notant que l'essentiel de la recherche se concentre sur la production d'hydroélectricité et la distribution d'électricité (Lemmen et coll., 2014). Les impacts des intempéries extrêmes sur les infrastructures essentielles et une disparité entre une production hydroélectrique réduite et une augmentation de la demande en électricité durant les vagues de chaleur faisaient partie des principaux risques relevés. Des technologies de réseau intelligent et des mesures liées au design urbain qui réduit les effets d'îlot de chaleur ont été citées comme exemples d'adaptation (Lemmen et coll., 2014). La recherche limitée sur les impacts des changements climatiques sur les ressources en énergie renouvelable autre que l'hydroélectricité était une des lacunes relevées en matière de connaissances. L'évaluation environnementale et la divulgation des risques ont été établies comme les nouveaux vecteurs des mesures d'adaptation dans le secteur (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; Lemmen et coll., 2014).

## 7.6.2 Risques pour la production et le transport d'énergie

Les impacts des changements climatiques varient selon le type d'énergie et la région, et peuvent se produire à des périodes différentes. Le secteur pétrolier et gazier canadien fournit la majeure partie des transports et représente 10 % de la production d'électricité du Canada (Ressources naturelles Canada, 2018). L'exploration, l'extraction, la production et la livraison du pétrole et du gaz seront affectées par les changements climatiques (Mantle314, 2019; Cruz et Krausmann, 2013). Les pipelines, les routes et les bâtiments sont touchés par la dégradation du pergélisol, les ruptures de versants et les inondations. Dans les régions nordiques, la fonte du pergélisol et la diminution de la disponibilité des routes de glace stables nuisent au transport et nécessitent des changements d'horaires. La débâcle des rivières se produira plus tôt dans l'année et les inondations dues aux embâcles pourraient être plus fréquentes. L'élévation du niveau de la mer modifiera les risques d'inondation et augmentera l'érosion côtière. Une forte demande en eau pour la production d'énergie, y compris pour les sables bitumineux, peut constituer un risque, car la disponibilité globale de l'eau diminue dans certaines régions et les sécheresses sont susceptibles de s'intensifier (Bonsal et coll., 2019). Les activités extracôtières pourraient bénéficier d'un accès accru aux ressources de l'Arctique en raison de la réduction de la glace de mer, mais elles seront toujours confrontées à des risques importants liés à la glace dans les régions nordiques et, ailleurs, aux impacts accrus des vagues (Mantle314, 2019; Stantec Consulting Ltd., 2012). Bien qu'elle ne soit pas directement liée à la production, la technologie de captage et de stockage du carbone (CSC) est essentielle à la transformation du secteur pétrolier et gazier

en filières à faibles émissions de carbone. En effet, le Conseil mondial de l'énergie a déclaré qu'« il est peu probable que le réchauffement climatique soit maintenu en deçà de 2 °C sans l'introduction et l'adoption généralisée du CSC, et le coût de l'atténuation serait plus élevé en l'absence de CSC » (Conseil mondial de l'énergie et coll., 2014, p.12). Toutefois, les technologies de CSC consomment beaucoup d'eau, puisqu'elles utilisent presque deux fois plus d'eau que les installations de captage et de stockage sans carbone, ce qui les rend vulnérables aux changements climatiques quant à la disponibilité de l'eau douce (Association internationale de l'énergie, 2015).

Les installations de production thermique à partir des combustibles nucléaires et fossiles dépendent d'une quantité suffisante d'eau pour le refroidissement et peuvent être confrontées à une réduction de l'efficacité du refroidissement en raison de la hausse de la température de l'eau ou de la contamination des entrées d'eau pour le refroidissement (p. ex., par des algues, des moules zébrées ou des particules de glace pendant les cycles de gel et de dégel) (Association canadienne de l'électricité, 2016; Braun and Fournier, 2016). Les programmes d'entretien des installations nucléaires peuvent être perturbés par l'augmentation des températures ambiantes, car la température influe sur le nombre de travailleurs autorisés dans les voûtes. La fermeture de centrales nucléaires en France en raison du manque d'eau pour le refroidissement lors de la vague de chaleur de 2003 (Kopytko et Perkins, 2011) est un exemple de ces impacts extrêmes.

L'hydroélectricité représente 59 % de la production d'électricité au Canada (Ressources naturelles Canada, 2018). Comme il s'agit d'une source d'énergie renouvelable qui dépend directement des conditions climatiques, la production d'hydroélectricité est influencée par les changements de température, les précipitations et la couverture de neige. Des hivers plus courts entraîneront des inondations printanières plus hâtives et la fonte des neiges y contribuera moins. Les débits en hiver devraient être plus élevés, et les débits en fin d'été pourraient baisser dans de nombreuses régions du Canada (Bonsal et coll., 2019). Aux latitudes plus élevées, où l'augmentation des précipitations n'est pas compensée par une évapotranspiration accrue, le potentiel de production peut augmenter. Cependant, avec les changements de fréquence et d'intensité des précipitations, les risques pour les infrastructures peuvent également augmenter et des changements dans la gestion de l'eau seraient nécessaires pour réduire les pertes au minimum. La grande souplesse que procure la capacité de stockage des centrales hydroélectriques leur permet de jouer un rôle déterminant dans la transition vers une filière énergétique à faibles émissions de carbone, en assurant la stabilité des réseaux électriques qui intègrent des énergies renouvelables plus volatiles telles que l'éolien et le solaire (Agence internationale de l'énergie, 2018). Une étude de 200 projets dans le Secteur de l'énergie suggère que l'hydroélectricité est le sous-secteur le plus avancé en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques (Braun and Fournier, 2016).

Les énergies renouvelables non hydroélectriques, qui comprennent l'éolien, le solaire et la biomasse, occupent une place de plus en plus importante dans le bouquet énergétique du Canada, une tendance qui se maintiendra (voir la figure 7.12; Office national de l'énergie, 2018, 2017). La production d'énergie éolienne diminue lorsque la densité de l'air est plus faible et la température plus élevée. Une augmentation de la température de l'air de 5 °C entraîne une diminution de la densité de l'air de 1 à 2 % et une baisse proportionnelle de la densité énergétique, ce qui affecte la production d'électricité (Pryor et Barthelmie, 2010). Toutefois, la production d'énergie éolienne pourrait bénéficier de vents plus soutenus et plus forts. La croissance rapide du marché de l'énergie éolienne renouvelable (voir la figure 7.12) reflète le poids croissant des sources d'énergie renouvelable au sein de l'économie en réponse aux changements climatiques. La

capacité solaire augmente encore plus rapidement que l'énergie éolienne, et devrait tripler d'ici 2040 (voir la figure 7.12; Office national de l'énergie, 2018, 2017). Bien que des préoccupations existent quant au fait qu'une augmentation de la couverture nuageuse due au changement des configurations météorologiques et aux phénomènes météorologiques extrêmes pourrait avoir des répercussions sur la production d'énergie solaire (Conseil mondial de l'énergie et coll., 2014), l'importance de ces répercussions dépend des régions. Au Canada, il convient de poursuivre la recherche.

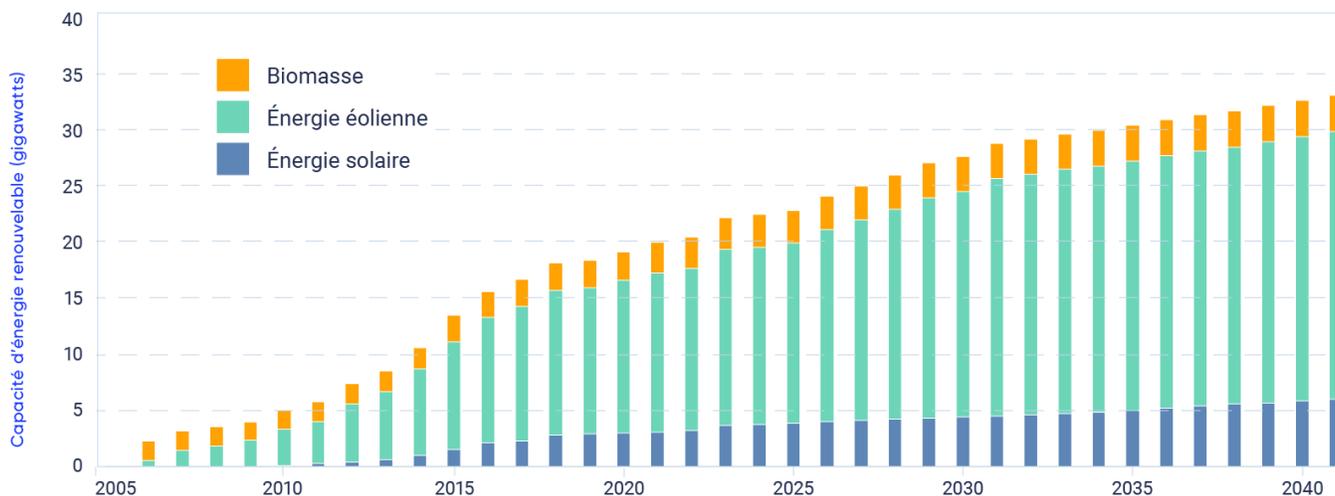


Figure 7.12 : Changements observés et prévus dans la capacité d'énergie renouvelable non hydroélectrique au Canada entre 2005 et 2040 selon le scénario de référence de l'Office national de l'énergie. Des taux de croissance plus élevés sont prévus selon un scénario technologique (Office national de l'énergie, 2018). Source : Adapté de l'Office national de l'énergie, 2018.

Le secteur du transport et de la distribution d'électricité sera perturbé par de nombreux facteurs, dont les suivants : 1) l'augmentation des températures, qui peut augmenter la résistance des lignes d'environ 0,4 % par hausse de 1 °C et diminuer la capacité de charge des lignes de 0,5 à 1 % par hausse de 1 °C; 2) l'expansion thermique des lignes électriques, qui affecte la distance sécuritaire à respecter (une hausse de 1 °C peut entraîner un affaissement des lignes de 4,5 cm); 3) les précipitations extrêmes qui augmentent le risque d'inondation des installations souterraines; et 4) les vents violents et les rafales qui peuvent endommager les lignes (Banque asiatique de développement, 2013, 2012).

### 7.6.3 Adaptation

Il existe plusieurs exemples d'adaptation de l'industrie énergétique aux changements climatiques en changement au Canada et dans le monde. La Western Power Distribution au Royaume-Uni a étudié l'impact des températures ambiantes plus élevées sur son réseau et a développé une approche « à faible regret » pour s'adapter à une augmentation de 5 °C de ses lignes. Pour compenser l'affaissement accru prévu des lignes,

elle a commencé à remplacer progressivement les poteaux dans le cadre de l'entretien normal (Western Power Distribution, 2011). Hydro-Québec a adopté une méthode pour améliorer ses prévisions de la demande énergétique en appliquant un facteur de révision dérivé du modèle climatique à l'enregistrement historique des températures avant de faire fonctionner le modèle de prévision (Braun, 2016). Une approche semblable pour améliorer les prévisions de débit a été adoptée par le fournisseur national d'électricité islandais Landsvirkjun, qui a ajusté son record de débit en fonction des projections climatiques (voir l'étude de cas 7.7; Fournier, 2016).

### **Étude de cas 7.7 : Possibilités d'augmentation de la production hydroélectrique en Islande**

L'électricité et le chauffage en Islande sont entièrement issus de sources renouvelables (hydrologique et géothermique). Le réchauffement des températures et l'augmentation des précipitations entraînent une augmentation de la fonte des glaciers, du ruissellement et de la capacité de production. Toutefois, la conception du système actuel en Islande ne permettra d'utiliser que 30 % du ruissellement supplémentaire prévu. L'optimisation des possibilités offertes par les changements climatiques nécessitera de nouveaux investissements pour augmenter le stockage dans le système (voir la figure 7.13; Sveinsson, 2015). Des démarches de planification similaires pourraient être adaptées dans le Nord du Canada où une augmentation du ruissellement est prévue en raison des changements climatiques (Bonsal et coll., 2019).

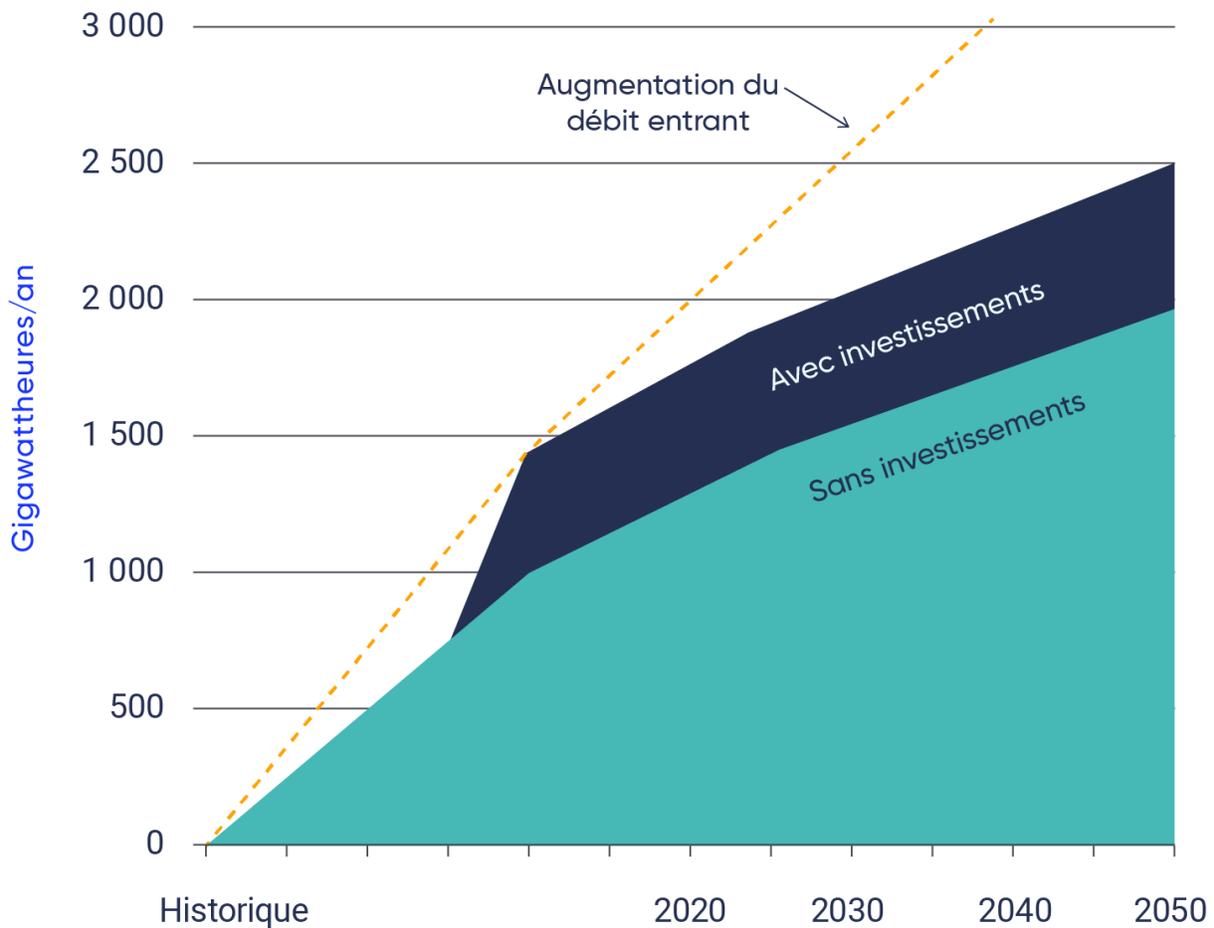


Figure 7.13 : Augmentation potentielle de la production d'hydroélectricité en Islande en raison de l'augmentation du ruissellement due aux changements climatiques et investissements supplémentaires dans les infrastructures. Source : Adapté de Sveinsson, 2015.

Les nouvelles technologies sont un outil essentiel pour l'adaptation aux changements climatiques dans le Secteur de l'énergie. Le sixième forum de l'Agence internationale de l'énergie sur le lien entre le climat et la sécurité énergétique a défini « l'innovation technologique » comme un domaine prioritaire pour faire progresser la résilience du secteur énergétique aux changements climatiques en Amérique du Nord (Agence internationale de l'énergie, 2016b). Si les technologies des énergies renouvelables décentralisées ont été largement développées par la demande de sources d'énergie à faibles émissions, elles assurent également une redondance qui peut créer des sous-systèmes de production et de distribution d'énergie dans le cas où d'autres parties du réseau seraient perturbées (American Council on Renewable Energy, 2018; Institut international du développement durable, 2017; Department of Energy des États-Unis, 2016; Agence

internationale de l'énergie, 2015). Il a été prouvé que les technologies de réseau intelligent, notamment la production d'énergie renouvelable, les compteurs intelligents, les appareils intelligents et la production automatique d'électricité, améliorent la reprise après des phénomènes météorologiques extrêmes, comme aux États-Unis avec les ouragans Irene (2011) et Sandy (2012) (Institut international du développement durable, 2017; Executive Office of the President, 2013). Pour la production thermique, de nouvelles technologies de refroidissement à sec sont mises en œuvre pour réduire la vulnérabilité aux changements de température et diminuer la dépendance aux sources d'eau pour le refroidissement (Braun and Fournier, 2016).

#### **7.6.4 Aller de l'avant**

Une sensibilisation accrue est une première étape essentielle dans le développement d'un secteur de l'énergie résistant aux changements climatiques qui peut garantir la sécurité énergétique future et un service fiable pour les Canadiens et Canadiennes. Des études de cas détaillées sur les impacts prévus et les réponses réelles ou proposées des entreprises sont un outil précieux pour cette sensibilisation (Braun et Fournier, 2016). Les interventions doivent être faisables, économiquement viables et pouvoir être mises en œuvre dans des délais raisonnables. Des interventions rentables et bénéfiques peuvent être intégrées aux activités commerciales existantes, par exemple en abordant les changements climatiques comme faisant partie intégrante des évaluations d'impacts environnementaux, comme cela est exigé pour les projets faisant l'objet d'une évaluation d'impact fédérale (Environnement et Changement climatique Canada, 2020).

Des fournisseurs d'énergie proactifs au Canada et à l'étranger ont créé des comités internes d'expertise et sur les changements climatiques. Ces comités collaborent avec des chercheurs et des centres sur les changements climatiques afin de comprendre, de produire et d'utiliser les données climatiques pour établir des seuils opérationnels sensibles aux changements climatiques. L'engagement de gestionnaires d'actifs peut être une composante importante d'une approche holistique et intégrée, fondée sur les risques, pour la planification énergétique, tout comme un suivi et une évaluation solides. Le partage des études de cas d'adaptation entre les entreprises est un autre moyen de faire progresser la résilience climatique dans le Secteur de l'énergie.

## 7.7 Les phénomènes climatiques extrêmes ont un impact sur les transports, perturbant les chaînes d'approvisionnement

Les transports routiers, ferroviaires, maritimes et aériens au Canada sont vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux changements climatiques à évolution lente, les perturbations majeures ayant des répercussions économiques et sociales importantes. Pour évaluer pleinement ces répercussions, il faut tenir compte des liens entre les différents systèmes de transport, et entre les modes de transport et un large éventail d'autres secteurs économiques. La coordination des mesures d'adaptation entre les compétences et les secteurs profitera aux propriétaires et aux exploitants de moyens de transport ainsi qu'aux personnes qui dépendent des chaînes et des corridors d'approvisionnement vulnérables.

*Le Canada compte sur une infrastructure et des services de transport efficaces, sûrs et fiables qui permettent la circulation des biens, des services et des personnes dans tout le pays. Les initiatives actuelles d'évaluation des risques climatiques et d'adaptation dans le secteur des transports ont tendance à se concentrer sur les impacts climatiques individuels et directs associés aux infrastructures aériennes, routières, ferroviaires ou maritimes et à d'autres actifs. Cette approche sous-estime les risques et impacts potentiels en chaîne des actifs ou des réseaux environnants, et vice versa. Analyser comment les différents éléments du transport dépendent les uns des autres, et comment le transport est lié à un large éventail d'autres secteurs peut aider à définir les possibilités de collaboration et de rentabilité, et peut prévenir les situations dans lesquelles les mesures prises pour atténuer des risques individuels ou spécifiques augmentent par inadvertance la vulnérabilité climatique des autres.*

### 7.7.1 Introduction

Un secteur des transports efficace relie les personnes et les collectivités, les produits, les ressources et les services aux marchés nationaux et internationaux (Palko, 2017). Au Canada, les responsabilités en matière de transport sont partagées entre différents paliers de gouvernement, les intervenants du secteur privé jouant un rôle important en tant que propriétaires, exploitants et gestionnaires des infrastructures et des biens, notamment en ce qui concerne les infrastructures ferroviaires, les véhicules, les navires et les avions (Andrey et Palko, 2017). L'infrastructure de transport du Canada est principalement concentrée dans la partie sud du pays, où ont lieu la plupart des échanges commerciaux et des transports (voir la figure 7.14). Cependant, les systèmes de transport du Grand Nord sont particulièrement sensibles aux changements climatiques et sont déjà touchés par la fonte du pergélisol, la réduction de la couverture de glace fluviale, lacustre et marine, et l'augmentation de l'érosion côtière et des inondations dues aux ondes de tempête (Palko, 2017; Hori et coll., 2017).

Réseau national d'aéroports



Réseau routier national



### Administrations portuaires canadiennes



### Réseau ferroviaire national



Figure 7.14 : Mappe des systèmes de transport nationaux du Canada montrant le réseau national d'aéroports, le réseau routier national, les administrations portuaires du Canada, et le réseau ferroviaire national. Source : Adapté de Transports Canada, 2017.

Un rapport complet, basé sur les régions, sur les impacts des changements climatiques et les mesures d'adaptation au Canada a été publié en 2017 (Palko et Lemmen, 2017). Voici quelques-unes de ses principales conclusions :

- L'infrastructure des transports du Canada est vulnérable aux dommages et aux perturbations causés par les changements climatiques et les phénomènes météorologiques extrêmes, ce qui peut présenter des risques pour d'autres secteurs de l'économie;
- Les systèmes de transport du Grand Nord subissent certains des impacts les plus importants du réchauffement, et les températures dans le Nord continueront d'augmenter à un rythme plus rapide que dans toute autre région du Canada;
- Bien que les approches réactives pour gérer les risques climatiques restent courantes dans le secteur des transports au Canada, des exemples d'adaptation en prévision des conditions climatiques futures se retrouvent dans toutes les régions et pour tous les modes de transport.

Cette section termine le rapport intitulé [Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016](#) (Palko et Lemmen, 2017), en examinant les interconnexions qui existent au sein des systèmes de transport intermodal et dans un large éventail de secteurs. Il s'inspire de la littérature canadienne et internationale, et se concentre principalement sur l'infrastructure matérielle.

## 7.7.2 Impacts climatiques sur les systèmes de transport

Les impacts des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques touchent déjà les infrastructures, les opérations, les systèmes et les services de transport à travers tous les modes et dans toutes les régions du Canada (Palko, 2017); il convient de noter que les changements climatiques ont déjà augmenté la probabilité de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes (Zhang et coll., 2019). Dans certains cas, ces impacts ont entraîné des perturbations des voyages et des conditions dangereuses, nuisant à la circulation des marchandises et des personnes, et entraînant une augmentation des coûts d'exploitation, une réduction des revenus ou une compensation pour les interruptions de service.

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent entraîner des coûts importants et accélérer la détérioration des infrastructures de transport, réduisant ainsi leur durée de vie (Boyle et coll., 2013). Par exemple, une pluie torrentielle à Toronto en 2013 a entraîné des inondations qui ont provoqué des fermetures de routes, des retards et des annulations de vols, et bloqué 1 400 voyageurs en train. Les dommages ont été estimés à 999,5 millions de dollars (Amec Foster Wheeler Environment Infrastructure, 2017). Au cours de la même année, les inondations dans le sud de l'Alberta ont causé 6 milliards de dollars de dommages, emportant 1 000 km de routes et détruisant plusieurs centaines de ponts et de ponceaux (Andrey et Palko, 2017). En 2017 et 2018, la ligne ferroviaire de Churchill a été fermée pendant 18 mois (CTV, 2018) en raison des effets cumulés des inondations et de la dégradation du pergélisol sous la ligne ferroviaire. Sans un mode de transport de rechange viable pour faire entrer les approvisionnements et expédier les marchandises, les frais de subsistance ont augmenté et l'accès aux services essentiels, y compris les services médicaux situés dans les collectivités plus au sud, a été entravé (The Globe and Mail, 2018).

### 7.7.3 Comprendre les interdépendances

Les secteurs et systèmes d'infrastructure, notamment les transports, l'énergie, les télécommunications, l'approvisionnement en eau, le traitement des eaux usées, la gestion des déchets solides et les bâtiments, sont « fortement interdépendants les uns des autres, comportant de multiples connexions, des liens de rétroaction et d'anticipation et des ramifications complexes » (Sudhalkar et coll., 2017, p. 3).

Les exemples d'interdépendances majeures dans les systèmes de transport comprennent les situations où deux secteurs sont essentiels l'un pour l'autre (p. ex., le transport et l'énergie), et où la technologie sert à renforcer les connexions entre les infrastructures, comme les signaux ferroviaires et les systèmes de contrôle du trafic contrôlés par des systèmes informatiques qui dépendent des réseaux électriques (Sudhalkar et coll., 2017). Les réseaux d'infrastructure contenant une ou plusieurs de ces caractéristiques « sont plus exposés aux risques de défaillance dus à des chocs ou à des contraintes externes, y compris les risques climatiques » (Sudhalkar et coll., 2017, p. 3). Les évaluations des risques liés aux changements climatiques qui ne tiennent pas compte de ces interconnexions pourraient conduire à une mauvaise évaluation des risques (Dawson, 2015).

Dans le secteur canadien des transports, les modes de transport (p. ex., ferroviaire, maritime, aérien et routier) sont souvent interconnectés (intermodaux) au sein des chaînes d'approvisionnement et à travers les points de passage et les corridors de transport. Les infrastructures et les installations portuaires, par exemple, constituent une plate-forme centrale pour le transport, la logistique et les chaînes d'approvisionnement, et sont des points de convergence clés pour les infrastructures maritimes, ferroviaires et routières afin de faciliter la circulation des marchandises nationales et étrangères (Becker et coll., 2018).

Les perturbations et les retards dans les chaînes d'approvisionnement nationales et internationales, y compris ceux causés par des phénomènes météorologiques, peuvent se propager à travers les réseaux avec des impacts sociaux et économiques néfastes (Becker et coll., 2018; Allen et coll., 2016; Zorn et coll., 2016). C'est ainsi que les faiblesses d'un mode de transport ou d'un secteur peuvent se répercuter sur d'autres.

### 7.7.4 Adaptation

Partout au Canada, les propriétaires et les exploitants d'actifs de transport entreprennent des actions pour prendre en compte leurs risques climatiques et renforcer leur résilience, souvent de manière indépendante (Kwiatkowski, 2017). Les mandats, les priorités, les sensibilités commerciales et les ressources distincts des nombreux intervenants du secteur créent des défis de gouvernance et des obstacles à l'action (Sudhalkar et coll., 2017). En l'absence de stratégies d'adaptation globales, les investissements individuels visant l'adaptation seront d'une efficacité limitée et pourraient avoir des conséquences négatives inattendues et non voulues sur les actifs et les systèmes voisins ou interdépendants (Kwiatkowski, 2017). Par exemple, la ville de Toronto a entrepris une évaluation de haut niveau des risques climatiques et des interdépendances pour les infrastructures essentielles et a constaté que les intervenants n'avaient pas une connaissance suffisante des impacts de leurs activités sur d'autres systèmes interdépendants, et qu'il était nécessaire de mettre en place des rôles et des responsabilités pour faire face aux risques communs (Sudhalkar et coll., 2017).

Les défis de l'adaptation résultent de nombreuses causes, notamment le fait que de nombreux actifs de transport ont un long cycle de vie, ce qui nécessite une longue planification et conception, alors que le développement et le remplacement technologiques dans des domaines tels que les technologies de l'information et de la communication se font très rapidement, ce qui entraîne des horizons de planification mal adaptés et des problèmes de délais possibles (Man, 2013; Dewar et Wachs, 2008; Finley et Schuchard, s.d.). Des occasions se présentent lorsque la planification des transports est capable de surmonter de tels défis et de faciliter une large collaboration et un engagement entre les secteurs et les compétences. Il s'agit notamment d'établir rapidement les multiples avantages et les solutions envisageables (Man, 2013), ce qui peut être particulièrement important dans les zones d'utilisation partagée des terres (Department of Environment, Food and Rural Affairs, 2011); de mieux comprendre les interdépendances entre les multiples propriétaires d'infrastructures; et d'accroître l'innovation et l'efficacité tout au long de la chaîne d'approvisionnement (Dubois et coll., 2011).

Des outils ont été développés pour aider les planificateurs à prendre en compte les risques associés aux interdépendances. Un exemple développé en Australie permet une analyse systémique des risques climatiques pour les organisations, ainsi que des interdépendances en amont et en aval (Cross Dependency Initiative, 2019). Les résultats peuvent démontrer quels risques causés par un tiers peuvent affecter le système d'une organisation, ainsi que les conséquences de leurs propres risques de défaillance sur d'autres infrastructures essentielles, et peuvent faciliter les mesures d'adaptation collaboratives (Cross Dependency Initiative, 2019).

L'étude de cas 7.8 fournit un exemple de la façon dont les intervenants se sont réunis pour étudier collectivement les interdépendances avec le transport, ainsi que les risques liés aux changements climatiques pour les infrastructures et les opérations, à Surrey, en Colombie-Britannique.

## **Étude de cas 7.8 : Faire face à l'augmentation des risques d'inondation à Surrey, en Colombie-Britannique**

Le contrôle des inondations à Surrey, en Colombie-Britannique, a été initialement développé à la fin des années 1800. L'élévation prévue du niveau de la mer augmente les risques d'une inondation majeure, affectant non seulement les habitants de Surrey, mais aussi l'économie régionale et nationale (Ville de Surrey, 2018). Les risques d'inondation comprennent l'inondation d'un réseau d'infrastructures régionales (notamment les conduites d'eau et d'égout, les routes et les autoroutes desservant 200 000 trajets quotidiens de véhicules à travers la plaine inondable), et des infrastructures vertes fournissant des services écosystémiques essentiels (comme les marais salants et les zones humides). Les activités économiques d'importance nationale exposées au risque d'inondation côtière comprennent :

- Des corridors de transport desservant près de 10 millions de passagers par an entre le Canada et les États-Unis (Bureau of Transportation Statistics, 2018);

- Trois milliards de dollars par an pour le transport de marchandises le long du couloir ferroviaire de Roberts Bank et du chemin de fer BNSF (reliant les installations du port de Vancouver au Canada et aux États-Unis, respectivement); et
- le raccordement principal de BC Hydro à la Bonneville Power Authority dans l'État de Washington.

Afin de gérer les risques climatiques croissants, la ville de Surrey a adopté une approche ascendante impliquant de multiples propriétaires d'actifs dans tous les secteurs d'infrastructure pour évaluer conjointement le risque partagé d'inondation côtière (Associated Engineering Limited, 2018). Les échanges entre les propriétaires d'actifs, les exploitants et les services d'urgence desservant la région ont été fructueux grâce à un voyage d'étude qui a permis aux participants de voir et d'entendre parler des principales interdépendances des infrastructures. L'infrastructure est complexe, et les diverses organisations font face à différents défis opérationnels et les équilibrent avec des modernisations des installations à long terme, et ce, de différentes manières, en fonction de leur tolérance au risque et des ressources disponibles.

Une vision commune des risques climatiques a été développée en appliquant le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques, s.d.) d'Ingénieurs Canada. Ceci comprenait une évaluation fondée sur trois résultats pour définir les facteurs sociaux, environnementaux et économiques que les propriétaires partagent. Étant donné les avantages que présente cette évaluation, le financement par le Programme Municipalités pour l'Innovation climatique était essentiel pour favoriser une collaboration préalable qui, autrement, aurait pu être limitée si des négociations sur le partage des coûts avaient été nécessaires. Même si les effets sur la prise de décision ont varié d'une organisation à l'autre, la perception positive du public a été une préoccupation majeure pour de nombreux propriétaires d'actifs (Associated Engineering Limited, 2018).

La prochaine étape consistera à élaborer un cadre à long terme que les propriétaires d'actifs devront suivre pour gérer le risque croissant d'inondation côtière dû à l'élévation du niveau de la mer, et pour mieux coordonner les investissements grâce aux possibilités de renouvellement des infrastructures et élaborer des solutions qui ne font que des gagnants (Associated Engineering Limited, 2018). Les principaux aspects du cadre consisteront à formaliser les moyens appropriés pour résoudre les interdépendances géographiques et physiques de chaque propriétaire d'infrastructure, et à suivre les progrès réalisés dans la gestion des risques climatiques au fil du temps.

Dans certains cas, cela n'implique qu'un seul propriétaire d'actifs. Par exemple, dans la ville de Surrey, les services de l'ingénierie et des parcs, des loisirs et de la culture travaillent ensemble pour s'adapter à la montée des eaux, qui a des répercussions sur une voie de transport essentielle et des espaces verts. Les interdépendances permettent de bénéficier du Fonds fédéral d'atténuation et d'adaptation aux catastrophes, alors que traiter les biens individuels de manière isolée ne répond pas aux exigences de financement fédéral. Une approche d'adaptation interministérielle, qui a été mise au point, intègre une structure de contrôle des inondations en remplaçant un pont et en aménageant un parc en bordure de la rivière. La coordination de ces mesures permettra de réduire le coût total en capitaux, d'augmenter le partage des coûts, d'accélérer l'adaptation et d'accroître le soutien du public en procurant des avantages immédiats à la collectivité, en plus de réduire les risques à long terme.

La gestion et le renouvellement des actifs offrent également la possibilité de réduire de manière proactive l'exposition aux risques. La ville de Surrey utilise des cycles de renouvellement standard pour adapter les infrastructures majeures afin de faire face aux impacts climatiques prévus pendant leur durée de vie. Par exemple, l'infrastructure de Mud Bay (voir la figure 7.15) est desservie par une station de pompage des eaux usées en fin de vie fonctionnelle, et la station de remplacement a été conçue pour résister à de multiples dangers, notamment l'élévation du niveau des eaux, les séismes et les affaissements du sol. De plus, la digue de contrôle des inondations sera considérablement surélevée. Afin de s'adapter à l'élévation du niveau de la mer, il faut tenir compte des interdépendances géographiques et physiques, notamment les suivantes (voir la figure 7.15) :

1. un viaduc provincial qui doit être surélevé pour maintenir la déclivité de la voie ferrée et préserver la zone de dégagement de la voie ferrée; et
2. le chemin de fer américain de classe 1, réglementé au palier fédéral, qui doit être surélevé pour accueillir une crête de digue plus élevée destinée à protéger l'infrastructure et à éviter un point faible.

En définitive, les adaptations du système de transport n'ont pas été simplement déterminées par les risques physiques directs pour les routes et les chemins de fer, mais ont été réalisées grâce à une approche coordonnée visant à renforcer la résilience dans de multiples secteurs. Cette approche a permis des mesures qui répondent aux besoins de chaque secteur établis grâce à un processus participatif et collaboratif.

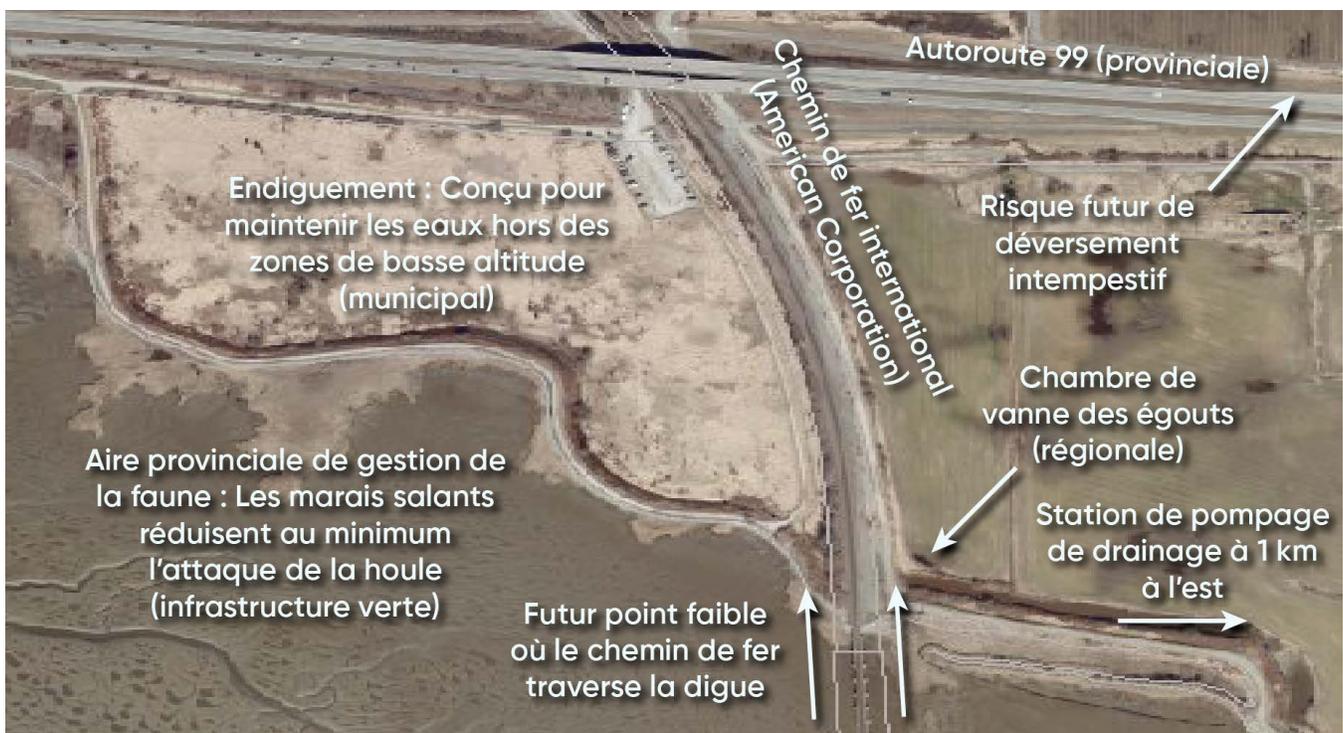


Figure 7.15 : Infrastructure interconnectée à Mud Bay, Surrey, C.-B., soulignant la nécessité d'approches coordonnées pour faire face aux risques présentés par l'élévation du niveau de la mer et d'autres dangers. Source : Adapté de la Ville de Surrey, 2018.

### 7.7.5 Aller de l'avant

Un climat en changement et des phénomènes météorologiques extrêmes continuent de poser des défis au secteur des transports du Canada. Il existe une série d'interdépendances au sein du secteur (entre les modes de transport) et entre les secteurs. Si l'on ne tient pas compte des interdépendances et des risques connexes, les investissements individuels visant à améliorer la résilience climatique seront d'une efficacité limitée ou auront des conséquences inattendues ou imprévues. Les approches collaboratives peuvent aider les propriétaires et les opérateurs d'actifs à mieux comprendre les risques et à déterminer des solutions d'adaptation qui répondent à de multiples domaines de risque et les recourent. Il existe des exemples pratiques, notamment le cas de la ville de Surrey (voir l'étude de cas 7.8), qui démontrent les multiples avantages qui découlent de tels partenariats, la confiance et une planification plus éclairée.

## 7.8 Les changements climatiques entraînent des changements transformationnels dans le tourisme

**Toutes les destinations touristiques doivent s'adapter aux impacts des changements climatiques sur les actifs touristiques ainsi qu'à la baisse de compétitivité au sein d'une économie touristique fortement interconnectée. Alors que la compétitivité du tourisme canadien devrait augmenter en raison des changements climatiques, les implications précises de ce changement sur le marché et dans les régions pour la compétitivité nationale restent insuffisamment étudiées. Le tourisme et les loisirs d'hiver et du Nord sont particulièrement sensibles à la variabilité du climat, et des changements transformationnels sont attendus dans le tourisme de ski, de motoneige et de croisière en Arctique.**

*Le tourisme est le plus grand secteur de services du Canada. Les changements climatiques influencent les activités touristiques, les investissements et les habitudes de voyage au Canada, ce qui exige une adaptation de la part de toutes les destinations touristiques. De nombreux risques et certaines occasions se multiplieront progressivement au cours de ce siècle, ce qui entraînera des déplacements géographiques afin de permettre aux marchés du tourisme saisonnier et axé sur la nature de prospérer. Les premiers impacts ont été visibles sur les marchés du tourisme d'hiver, où la diminution des conditions de neige et de glace affecte la viabilité des industries touristiques de plusieurs milliards de dollars à travers le Canada, dont une grande partie est concentrée dans les petites collectivités rurales. L'industrie du ski a investi des centaines de millions de dollars dans la fabrication de neige, ce qui lui donne une capacité substantielle d'adaptation au réchauffement futur et à la baisse des chutes de neige naturelles dans certains endroits. Les scénarios de réchauffement plus élevé dépasseront les limites techniques de l'adaptation de la fabrication de neige dans de nombreux endroits. L'industrie de la motoneige est très vulnérable aux mêmes changements, car la fabrication de neige n'est pas techniquement ou économiquement viable pour des milliers de kilomètres de pistes, et les traverses de glace deviendront de plus en plus dangereuses. La fonte des glaciers et la réduction de la glace marine changent les attractions touristiques, des parcs nationaux des montagnes Rocheuses en tourisme de croisière dans*

*l'archipel arctique canadien, en passant par les ours polaires. Les touristes, les exploitants du tourisme et les collectivités de destination s'adaptent à ces divers risques et possibilités climatiques, ce qui a parfois des conséquences imprévues pour les organismes gouvernementaux non touristiques (p. ex., recherche et sauvetage), les collectivités (p. ex., surtourisme) et l'expérience des visiteurs.*

## 7.8.1 Introduction

Les changements climatiques présentent divers risques et possibilités pour le tourisme national et international au Canada (Scott et coll., 2020; Hewer et Gough, 2018; Scott et coll., 2012). Les changements climatiques influencent déjà les exploitations touristiques, les investissements et les modèles de voyage, de sorte que toutes les destinations touristiques devront s'adapter aux impacts sur les atouts touristiques locaux, ainsi qu'à la baisse de la compétitivité au sein de l'économie touristique internationale fortement interconnectée (Scott et coll., 2020, 2016). À l'échelle mondiale, les scénarios de fortes émissions sont largement considérés comme étant incompatibles avec la croissance prévue du tourisme (Scott et coll., 2019; GIEC, 2018). D'après les diverses analyses des multiples impacts des changements climatiques sur le secteur du tourisme, la compétitivité internationale du tourisme canadien devrait s'améliorer (Scott et coll., 2019; Roson et Sartori, 2016; Organisation de coopération et de développement économiques, 2015). Les répercussions des changements du caractère saisonnier, des paysages (p. ex., les plages, les niveaux d'eau), de la biodiversité, des phénomènes extrêmes (p. ex., les vagues de chaleur, les feux de forêt) et des marchés transnationaux ont des implications de grande portée, mais encore peu étudiées, pour le développement et la compétitivité du tourisme, les modes de déplacement et les moyens de subsistance.

Kovacs et Thistlethwaite (2014) ont donné un aperçu des grands impacts climatiques et des mesures d'adaptation dans l'industrie canadienne du tourisme, notamment en discutant des implications pour le système des parcs, les loisirs par temps chaud et froid et le tourisme axé sur la nature. Tout en notant des exemples d'efforts de planification avancée de l'adaptation, cette étude a conclu que le niveau de préparation du secteur du tourisme pour faire face aux changements climatiques était faible, ce qui est conforme aux évaluations de l'état de préparation du secteur au niveau mondial (Becken et coll., 2020; Scott et coll., 2016). Les changements climatiques présentent également des possibilités émergentes pour certains marchés du tourisme, qui devraient également s'adapter afin de réaliser des bénéfices économiques potentiels, de maintenir les atouts touristiques et de maintenir l'expérience des visiteurs.

Cette section s'appuie sur les conclusions de Kovacs et Thistlethwaite (2014) en se concentrant sur les marchés qui dépendent de la neige et de la glace comme le tourisme de ski, de motoneige et de croisière en Arctique, car c'est là que les impacts des changements climatiques se font sentir en premier et que l'adaptation de l'industrie du tourisme et des investisseurs est en cours. Les détails des changements observés et prévus de la couverture de neige et de glace (notamment la glace de mer, de lac et de rivière, les glaciers et le pergélisol) sont présentés dans [le chapitre 5 du Rapport sur le climat changeant du Canada](#) (Derksen et coll., 2019).

## 7.8.2 Tourisme des sports d'hiver

L'industrie du ski en Amérique du Nord a investi des centaines de millions de dollars dans la fabrication de neige au cours des 30 dernières années afin de réduire sa sensibilité aux changements climatiques. Alors que les températures hivernales moyennes ont continué à augmenter, la durée des saisons de ski s'est allongée tout au long des années 1980, 1990 et 2000 sur les cinq marchés régionaux du ski aux États-Unis (Scott et Steiger, 2013). Ce n'est que dans les années 2010 que cette tendance s'est inversée, ce qui laisse à penser que les capacités avancées de fabrication de neige pourraient ne plus être en mesure de compenser le réchauffement hivernal. Les récents records de chaleur hivernale, qui sont des indicateurs des conditions hivernales normales à venir, donnent un aperçu important de la manière dont l'industrie du ski et les touristes de ski s'adaptent. Au cours de l'hiver chaud record de 2011–2012, le marché du ski en Ontario a connu une diminution moyenne de la durée de la saison de ski (-17 %) et du terrain skiable (-9 %), une baisse de la qualité de la neige (-46 % de jours de poudreuse), une diminution du nombre de jours de fabrication de neige (-18 %) et une augmentation de la fabrication de neige en début de saison (+300 % en décembre), ainsi qu'une diminution de 10 % de l'ensemble des visites de skieurs, par rapport à un hiver climatique normal pour la période 1981–2010 (Rutty et coll., 2017). Des impacts similaires sur la durée de la saison et la fréquentation ont été observés sur le marché québécois, les visites des skieurs ayant diminué de 12,5 % au cours de l'hiver chaud record de 2015–2016 (Association des Stations de Ski du Québec, 2016).

Les différences d'exposition au risque des changements climatiques entre les destinations de ski ont des implications importantes pour la compétitivité des marchés intra et interrégionaux et les déplacements géographiques du tourisme de ski. Une comparaison des impacts des changements climatiques sur les saisons de ski dans les stations de ski de l'Ontario, du Québec et du nord-est des États-Unis a mis en évidence différents scénarios pour ces marchés régionaux pour les années 2050 et 2080 (voir la figure 7.16). Les stations de ski du Québec et les sites de haute altitude du Vermont et du New Hampshire sont plus résilients aux changements climatiques que ceux de l'Ontario et les sites de basse altitude ou de latitude plus basse du nord-est des États-Unis (Scott et coll., 2020). L'analyse de trois stations de ski au Québec prévoyait des pertes saisonnières presque identiques de 10 à 20 jours dans les années 2050, et une réduction prévue de 10 % des visites de skieurs (Da Silva et coll., 2019). D'importantes lacunes subsistent, notamment en ce qui concerne les plus grands marchés du tourisme lié au ski au Canada (Colombie-Britannique et Alberta) et les implications des différents impacts sur la dynamique du marché, le tourisme et l'emploi au sein des collectivités, les pressions de développement et la valeur des biens immobiliers (Scott et coll., 2017; Rutty et coll., 2015).

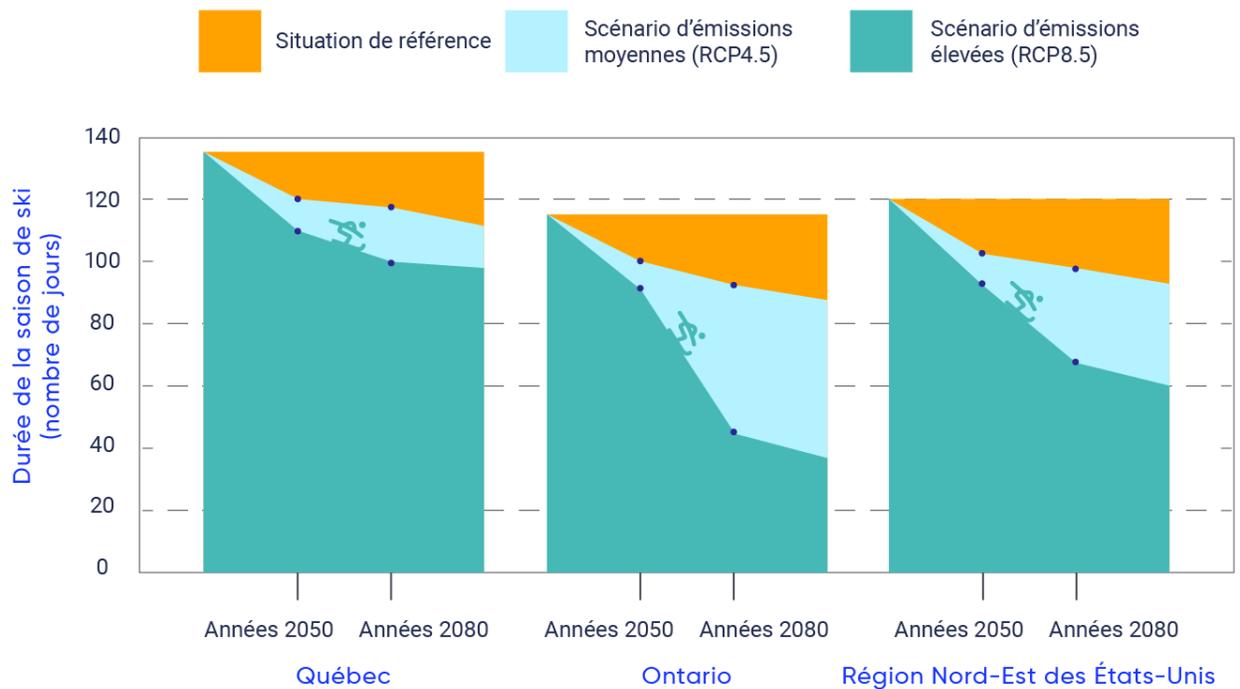


Figure 7.16 : Comparaison de l'évolution de la durée de la saison de ski sur les marchés de l'Ontario, du Québec et de la Nouvelle-Angleterre avec une capacité de fabrication de neige avancée dans le cadre de scénarios à émissions moyennes (RCP4.5) et à émissions élevées (RCP8.5) pour les années 2050 et 2080. La situation de référence correspond à la période 1981–2010. Source : Adapté de Scott et coll., 2020.

Des études sur l'impact des réductions actuelles et prévues de la neige de la saison hivernale sur l'industrie de la motoneige en Amérique du Nord montrent que si les motoneigistes s'adaptent aux conditions changeantes, la détérioration continue de la durée de la saison entraînera une perte de ce marché touristique dans de nombreuses régions des États-Unis et du Canada (Perry et coll., 2018; Hatchett et Eisen, 2018; Tercek et Rodman, 2016; McBoyle et coll., 2007). Selon le scénario de fortes émissions prévu pour les années 2050, les régions de l'Ontario et du Québec, où le réseau de pistes de motoneige est le plus dense, ne connaîtront pratiquement plus de saisons régulières de motoneige (McBoyle et coll., 2007). Une baisse de 20 % des motoneiges immatriculées au Canada entre 1995 et 2015 (données de l'Association internationale des fabricants de motoneiges) indique peut-être une adaptation aux changements climatiques par les personnes ce qui entraînera des changements dans ce marché touristique. Bombardier Produits récréatifs (2017) a informé les investisseurs que les changements climatiques mondiaux pourraient avoir un impact plus important que prévu sur les ventes futures de motoneiges. Le passage aux véhicules tout-terrain n'est pas considéré comme une stratégie d'adaptation réalisable, car ces véhicules ont tendance à avoir un impact plus important sur la surface des sentiers, empêchant le partage des réseaux de sentiers et l'accès des autres utilisateurs aux parcs et aux terres agricoles (Perry et coll., 2018; McBoyle et coll., 2007).

### 7.8.3. Tourisme de croisière dans l'Arctique

La diminution de la couverture de glace de mer en été a permis un meilleur accès maritime aux terres, aux paysages marins et aux cultures majestueuses de l'Arctique canadien (voir le chapitre « Nord du Canada »). Cela a permis l'accès à des zones et à des collectivités qui étaient auparavant inaccessibles aux bateaux de touristes. Les exploitants d'entreprises touristiques et les touristes se sont rapidement adaptés à ces nouvelles possibilités, avec une forte croissance de la circulation des navires commerciaux (bateaux de croisière) et non commerciaux (yachts privés) depuis la fin des années 2000 (Dawson et coll., 2018; Johnston et coll., 2017). Bien que le développement du tourisme soit considéré comme hautement stratégique par les gouvernements de l'ensemble de l'Arctique (Dawson et coll., 2017), il existe des préoccupations liées aux infrastructures nécessaires pour accueillir le nombre croissant de touristes, aux impacts environnementaux, aux opportunités économiques inégales, aux impacts sociaux et culturels locaux négatifs et à la capacité limitée de recherche et de sauvetage (Dawson et coll., 2018; Stewart et coll., 2011). Des cartes hydrographiques limitées et des conditions de glace changeantes augmentent le risque d'un incident à fort impact impliquant un navire de croisière (Dawson et coll., 2016). Même des incidents relativement mineurs peuvent être associés à des coûts élevés (voir l'étude de cas 7.9). Une adaptation multisectorielle intégrée est essentielle pour répondre à ces défis et soutenir le tourisme durable dans l'Arctique canadien.

#### Étude de cas 7.9 : Les coûts de l'accroissement de la circulation des navires de tourisme dans l'Arctique canadien

La circulation touristique non réglementée des navires de croisière et des bateaux de plaisance (yachts) a augmenté régulièrement dans l'Arctique canadien en raison de l'évolution des conditions de glace (voir la figure 7.17; Dawson et coll., 2018). Cette réaction des exploitants d'entreprises touristiques et des touristes a suscité des inquiétudes quant à la capacité potentielle de recherche et de sauvetage pour répondre à un incident à haut risque, tel que le naufrage d'un navire de croisière. L'échouement de l'*Akademik Ioffe* près de Kugaaruk, au Nunavut, en août 2018, a révélé les coûts élevés de la recherche et du sauvetage, même pour un incident mineur impliquant un bateau de tourisme. Les Forces canadiennes ont dépensé plus de 500 000 dollars pour fournir une aide, tandis que le coût lié à l'intervention de deux brise-glaces n'a pas été communiqué par la Garde côtière canadienne (Toth, 2018). L'investissement dans l'amélioration des cartes de navigation sur les routes maritimes communes et les exigences en matière d'assurance pour indemniser les coûts de recherche et de sauvetage ont été établis comme des réponses d'adaptation possibles pour réduire les risques sécuritaires et financiers.



Figure 7.17 : Le navire de croisière Hanseatic arrivant à Pond Inlet, NU, vers 2005. Photo gracieuseté de Emma J. Stewart, Université de Lincoln.

#### 7.8.4 Tourisme de « dernière chance »

Certaines données confirment l'émergence d'une tendance du tourisme de « dernière chance ». Il s'agit des voyages effectués par les touristes pour visiter des sites avant que leurs attractions ne disparaissent ou ne soient irrémédiablement dégradées, ou pour assister à l'impact des changements de paysage induits par le climat, comme la fonte rapide des glaciers ou les modifications de la biodiversité (Lemelin et coll., 2010). Des études de marché auprès des touristes sur les parcs des montagnes Rocheuses du Canada et à Churchill (Manitoba), la capitale mondiale autoproclamée de l'ours polaire, révèlent des motivations de dernière chance chez un segment de voyageurs, ce qui laisse entrevoir des possibilités à court et à moyen terme d'accroître la fréquentation, ainsi que d'organiser des activités éducatives et interprétatives pour les visiteurs (Weber et coll., 2019; Groulx et coll., 2017; Lemieux et coll., 2017; Groulx et coll., 2016; Dawson et coll., 2010). Il reste d'importantes incertitudes liées aux réactions à long terme des touristes face à la dégradation des atouts touristiques. Par exemple, alors que les touristes ont indiqué leur motivation et leur intention de visiter

les parcs des montagnes Rocheuses ou Churchill, le nombre de touristes diminuerait si les glaciers et les populations d'ours polaires étaient fortement touchés, et il n'est pas certain que les générations futures de touristes n'ayant aucune expérience ou attente des attractions écotouristiques actuelles réagiraient de la même manière (Scott et coll., 2007).

### 7.8.5 Aller de l'avant

Le tourisme est le secteur de services principal du Canada et devrait devenir plus compétitif sur le marché mondial en raison des changements climatiques (Scott et coll., 2019; Roson et Sartori, 2016; Organisation de coopération et de développement économiques, 2015). La documentation actuelle est insuffisante pour déterminer l'impact économique net des scénarios à faibles et fortes émissions sur les marchés touristiques infranationaux. L'essentiel de l'adaptation dans le secteur consiste à faire face aux risques d'exploitation actuels et aux nouveaux débouchés du marché. L'un des principaux obstacles à la planification stratégique de l'adaptation à long terme réside dans l'absence d'évaluations sectorielles intégrées qui prennent en compte toute la gamme des impacts potentiellement aggravants à l'échelle du pays et de la destination, ainsi que leurs interactions avec les autres principaux vecteurs du tourisme. Le tourisme ne fait partie d'aucun document majeur de politique climatique nationale au Canada, et il n'y a pas non plus de réponse aux changements climatiques dans les stratégies touristiques nationales et la plupart des stratégies infranationales (Becken et coll., 2020). L'adaptation est souvent limitée à l'échelle de l'entreprise, avec des exemples limités de planification coordonnée de l'adaptation à l'échelle de la destination (p. ex., la municipalité de villégiature de Whistler, 2016).

## 7.9 Une participation accrue du secteur privé accélérera l'adaptation dans tous les secteurs

**Malgré une prise de conscience croissante des impacts des changements climatiques, il n'y a pas de signes généralisés d'adaptation par les entreprises au Canada. Lorsque l'adaptation a lieu, elle tend à se concentrer sur des actions à court terme pour faire face aux risques physiques, tels que les perturbations dans la construction et les interruptions dans les chaînes d'approvisionnement. Une participation accrue du secteur privé accélérerait l'adaptation au Canada dans son ensemble.**

*Une incertitude considérable plane quant au rôle du secteur privé dans l'adaptation aux changements climatiques au Canada. Bien qu'il existe plusieurs études de cas d'entreprises canadiennes s'adaptant aux changements climatiques, en particulier dans les secteurs des assurances et des ressources naturelles, rien ne prouve que ces actions soient largement représentatives de la réponse du monde des affaires aux changements climatiques. Les mesures qui ont été prises sont souvent des mesures à portée de main, axées sur les vulnérabilités précises des sites aux changements climatiques actuel, qui auraient été mises en œuvre sans tenir compte de l'augmentation des risques à l'avenir. Les incitations stratégiques associées au risque*

physique, la sensibilisation croissante des intervenants à la nécessité de s'adapter et la réglementation gouvernementale figurent parmi les facteurs motivant l'adaptation des entreprises. Le manque de données disponibles sur l'adaptation des entreprises peut être influencé par la protection des informations internes; cependant, il existe également des obstacles évidents à l'adaptation liés à la capacité et aux délais à court terme de la plupart des exploitations commerciales. Des efforts supplémentaires, notamment en matière de recherche, pourraient contribuer à réduire ces obstacles en déterminant les rôles appropriés pour le secteur privé dans le soutien à l'adaptation.

## 7.9.1 Introduction

Le secteur privé, qui est une composante majeure de tous les secteurs abordés précédemment dans ce chapitre, est à la fois une source de risques et une occasion à saisir dans l'approche du Canada en matière d'adaptation aux changements climatiques. La recherche met en évidence la vulnérabilité des entreprises et des industries aux changements climatiques, en particulier la manière dont l'évolution des conditions environnementales (p. ex., des phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents) pourrait limiter la croissance, perturber les activités et dévaluer les investissements. Dans un même temps, les entreprises et les industries sont des acteurs essentiels qui soutiennent le développement de l'expertise, des outils et des connaissances liés à l'adaptation.

La participation du secteur privé à la lutte contre les changements climatiques a toujours été axée sur la réduction des émissions de GES plutôt que sur l'adaptation. Cependant, les gouvernements, les universitaires et d'autres organisations ont commencé à explorer le rôle potentiel de l'adaptation des entreprises, étant donné l'ampleur des investissements et des ressources nécessaires pour gérer les risques liés aux changements climatiques (Dougherty-Choux et coll., 2015). Le secteur privé pourrait contribuer à répondre aux demandes de nouvelles technologies, d'expertise en gestion et en modélisation des risques, de capacité d'étendre les solutions au-delà des collectivités individuelles, et de ressources financières nécessaires pour atteindre les objectifs d'adaptation nationaux et internationaux (CCNUCC, 2012; Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2012).

Un aperçu des impacts climatiques et des mesures d'adaptation dans les entreprises canadiennes a été inclus dans plusieurs chapitres de Warren et Lemmen (2014), avec Kovacs et Thistlethwaite (2014) qui note que l'adaptation des entreprises avait été largement réactive, réagissant aux fluctuations du climat ou aux phénomènes extrêmes, plutôt que de faire appel à une analyse des changements climatiques prévus sur le long terme. Il a en outre été noté qu'une adaptation réussie peut créer de nouvelles occasions grâce à l'expansion des marchés et des produits. La rareté des recherches publiées détaillant les impacts climatiques et l'adaptation des entreprises canadiennes a été soulignée, notant que dans certains cas, les mesures d'adaptation peuvent être sous-rapportées pour des raisons stratégiques.

Cette section s'appuie sur les conclusions de Kovacs et Thistlethwaite (2014) en se concentrant sur l'état de l'adaptation des entreprises au Canada en général. Elle complète la discussion sur les mesures d'adaptation spécifiques dans d'autres sections de ce chapitre, ainsi qu'un certain nombre de questions émergentes importantes pour le secteur privé, qui sont abordées dans le chapitre « [Divulgence, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) » du présent rapport.

## 7.9.2 Adaptation des entreprises au Canada

L'adaptation des entreprises aux changements climatiques est définie comme un « processus d'ajustement des entreprises aux changements climatiques réel ou prévu et à ses effets par des changements dans les stratégies, les activités, les pratiques ou les décisions d'investissement des entreprises » (Averchenkova et coll., 2016, p. 520). Les cas d'adaptation des entreprises au Canada, ainsi qu'à l'international, ont tendance à être limités et difficiles à généraliser au-delà des actions spécifiques aux secteurs et aux emplacements. Les analyses documentaires exhaustives sur l'adaptation des entreprises (Linnenluecke et Smith, 2018; Averchenkova et coll., 2016) n'ont pas relevé d'études canadiennes récentes (après 2011) sur l'adaptation des entreprises.

Les résultats des recherches menées dans d'autres pays industrialisés indiquent que les entreprises peuvent avoir une grande expérience de la gestion ou des ajustements opérationnels en réponse à l'évolution de l'environnement économique ou concurrentiel, mais qu'elles n'ont généralement pas été en mesure de traduire cette expérience en ajustements aux changements climatiques (Linnenluecke et coll., 2013). En conséquence, les entreprises séparent souvent l'adaptation aux changements climatiques des principaux processus de création de valeur, et la traitent plutôt comme une question de responsabilité sociale (Thistlethwaite et Wood, 2018; Furrer et coll., 2009).

Il est souvent difficile, et peut-être pas particulièrement utile, de distinguer les actions soutenant l'adaptation aux changements climatiques des actions découlant des processus de gestion des risques existants, étant donné que l'anticipation et l'identification de l'instabilité externe susceptible d'interrompre les services constituent une planification efficace de la continuité des activités (Agrawala et coll., 2011). Les experts ont fait valoir que l'adaptation peut être intégrée dans les stratégies standard de gestion des risques des entreprises en élargissant la portée de l'évaluation des risques, de l'établissement des priorités et des mesures d'intervention pour inclure les changements climatiques (Berkhout, 2012).

## 7.9.3 Mesures d'adaptation

La gestion des risques représente la stratégie principale des entreprises pour réduire leur vulnérabilité aux changements climatiques. En analysant l'adaptation du secteur privé, il est possible de faire la différence entre les mesures de gestion prises au niveau de l'entreprise pour limiter l'exposition opérationnelle aux changements climatiques, et la production d'outils et de services d'adaptation qui aident à gérer la vulnérabilité climatique (Schaer et Kuruppu, 2018). En matière de gestion de l'exposition opérationnelle, les mesures d'adaptation peuvent être classées comme des mesures « souples » ou « dures ». Les adaptations « souples » sont des mesures à faibles regrets, car elles demandent des investissements limités et génèrent des bénéfices, mais pas toujours un profit financier direct. Elles comprennent des activités telles que l'évaluation des risques climatiques et des opportunités, l'ajustement des pratiques d'exploitation, les programmes d'éducation et de sensibilisation, les intervenants et leur participation politique et la mise en œuvre de partenariats avec des acteurs externes. Les mesures d'adaptation « dures », quant à elles, demandent un investissement ou un changement majeur des pratiques et des opérations, comme la construction ou la rénovation de défenses structurelles, la relocalisation d'infrastructures ou de bureaux

ou le désinvestissement de propriétés et de secteurs à risque (Averchenkova et coll., 2016). Les services d'adaptation constituent une réponse à la demande de gestion des risques en matière de changements climatiques et de désastres, et comprennent des évaluations des risques climatiques et des possibilités, des technologies de cartographie et de télécommunications, des produits agricoles résilients aux changements climatiques et de nouveaux produits d'assurance (p. ex., des assurances paramétriques).

L'adaptation gagne du terrain au sein des entreprises grâce à de nombreux facteurs, dont une conscientisation accrue aux changements climatiques dans les firmes et les secteurs, des motivations stratégiques pour aborder les risques physiques (Williams et Schaefer, 2013) et des règlements gouvernementaux (Revell et coll., 2009). Au Canada, l'accent a été mis principalement sur la compréhension et la divulgation des risques physiques. Ces risques comprennent la perturbation dans la construction, les interruptions dans les chaînes d'approvisionnement, les coûts énergétiques volatiles associés à des fluctuations de la demande dues aux changements climatiques ainsi que des fermetures et des relocalisations lorsque des clients ou des employés sont incapables d'accéder à une entreprise en raison d'intempéries extrêmes (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; Comptables professionnels agréés Canada, 2016a; Linnenluecke et coll., 2011). Malgré cela, la plupart des entreprises peinent à mesurer un risque physique qui comporte beaucoup d'incertitudes et peut donc être considéré comme une préoccupation à plus long terme (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; Mazzacurati, 2018).

Dans l'ensemble, il y a peu de preuves de réponses claires à ces facteurs au Canada. Une enquête menée en 2018 sur les réponses des entreprises aux changements climatiques a révélé qu'une majorité d'entre elles ne prennent pas de mesures et qu'un quart des répondants estiment qu'elles prévoient de s'adapter (Earnscliffe Strategy Group, 2018). Un exemple est la mise en œuvre des stratégies par le secteur des assurances, visant à soutenir l'adaptation aux changements climatiques, en réponse à l'augmentation marquée des dommages matériels liés à l'eau (voir l'étude de cas 7.10; McBean, 2012). Les changements climatiques et les infrastructures et les immeubles vieillissants dans les régions où les risques climatiques sont élevés ont augmenté le nombre et le coût des demandes d'indemnisation pour les dommages causés par les inondations (Henstra et Thistlethwaite, 2017).

## Étude de cas 7.10 : Les assurances et l'adaptation aux changements climatiques au Canada

L'inondation de 2013 dans le sud de l'Alberta a été la plus coûteuse de l'histoire du Canada. Malheureusement, les dommages causés par le ruissellement des eaux de l'inondation n'ont pas pu être couverts par une assurance sur les biens, laissant de nombreuses victimes sans ressources pour se rétablir complètement. Cet écart de couverture a conduit les assureurs à se demander si les Canadiens disposaient d'une couverture suffisante pour faire face à un climat en changement où l'on prévoit une augmentation des risques d'inondation (Comptables professionnels agréés Canada, 2016b). Les assureurs ont donc élargi leur couverture pour inclure les dommages causés par les inondations terrestres, qui était auparavant inexistante au Canada. L'assurance contre les inondations constitue un outil important pour améliorer la résilience aux changements climatiques, car elle permet d'attribuer des primes qui incitent les propriétaires, les entreprises et les collectivités à réduire leur propre exposition en élargissant la couverture et en partageant les coûts de recouvrement des dommages causés par les inondations (Thistlethwaite, 2016; GIEC, 2012). Cet engagement a permis une utilisation plus large de l'expertise en matière d'assurance sur la modélisation des risques et des stratégies de réduction des risques dans le cadre des efforts visant à promouvoir l'adaptation (Surminski et Hankinson, 2018). Cela est particulièrement important au Canada, où la sensibilisation aux risques d'inondation et la compréhension de la couverture d'assurance sont limitées dans tout le pays (Thistlethwaite et coll., 2017).

### 7.9.4 Manque de connaissances

Hormis quelques exemples dans le secteur des assurances et des ressources naturelles, il y a un manque de recherches et de données disponibles sur l'adaptation des entreprises au Canada. Le manque de connaissances commence par le fait que l'adaptation des entreprises reste mal définie en pratique, ce qui limite notre compréhension de ce qui, dans les comportements de gestion, de stratégie ou d'investissement, constitue des adaptations. Les entreprises pourraient donc ne pas déclarer l'adaptation, car elles ne savent pas si une mesure peut être définie comme telle.

Il subsiste également une incertitude quant à la motivation et aux obstacles à l'adaptation des entreprises. Au Canada, l'attention est surtout portée sur les risques physiques liés aux activités commerciales, mais il n'existe pratiquement aucune recherche sur les questions de sensibilisation des entreprises ou de réglementation. Il existe également peu de recherches sur les résultats de l'adaptation des entreprises et ses impacts sur les entreprises ou les collectivités où elles sont implantées. Le suivi et l'évaluation de l'adaptation des entreprises pourraient améliorer la compréhension de ces résultats (Surminski et Hankinson, 2018; Averchenkova et coll., 2016). Enfin, des recherches supplémentaires permettraient de clarifier le rôle des entreprises dans des politiques d'adaptation plus larges. La répartition des responsabilités en matière d'adaptation entre les différents intervenants reste une source d'ambiguïté.

Ce manque de connaissances est particulièrement préoccupant pour les petites et moyennes entreprises (PME), qui sont plus vulnérables aux risques climatiques (Linnenluecke et Smith, 2018). Les PME manquent de ressources par rapport aux grandes entreprises et peuvent avoir plus de difficultés à prioriser les problèmes perçus à long terme comme les changements climatiques, étant donné les préoccupations à court terme concernant le maintien des activités. L'enquête de 2018 sur les réponses des entreprises canadiennes aux changements climatiques a montré que les PME étaient beaucoup moins susceptibles de s'engager dans des actions visant à soutenir l'adaptation (Earnscliffe Strategy Group, 2018). Cet écart est d'autant plus préoccupant que le rétablissement d'une collectivité locale à la suite d'une catastrophe dépend souvent de la résilience des PME locales. Il est démontré que 40 % des PME ne parviennent pas à rouvrir après une catastrophe et que nombre d'entre elles sont incapables de poursuivre leurs activités même si elles rouvrent (McKay, 2018). Sans ces PME, la collectivité locale risque de ne jamais soutenir la croissance économique et la qualité de vie dont elle bénéficiait avant la catastrophe, car nombre d'entre elles fournissent des services essentiels tels que l'accès à la nourriture et aux médicaments.

### 7.9.5 Aller de l'avant

Bien que le manque de données disponibles empêche de tirer des conclusions claires sur l'état de l'adaptation des entreprises au Canada, il suggère que les entreprises pourraient ne pas avoir une capacité d'adaptation suffisante. La plupart des entreprises sont confrontées à des limites en ce qui concerne les ressources humaines et financières nécessaires pour interpréter les données relatives aux changements climatiques, d'évaluer les coûts et les avantages des actions et d'intégrer la flexibilité requise pour adapter les stratégies à mesure que de nouvelles informations se présentent (Wedawatta et Ingirige, 2016; Downing, 2012). Les recherches suggèrent également que les entreprises sont biaisées sur le plan organisationnel en faveur du court terme et des échelles locales, et qu'elles sont réticentes à agir lorsqu'elles sont confrontées à l'incertitude temporelle et spatiale associée aux changements climatiques (Bansal et coll., 2017; Slawinski et coll., 2017). Le manque de capacité d'adaptation et l'absence d'intérêt organisationnel dans la lutte contre les changements climatiques remettent en question la capacité actuelle des entreprises à jouer un rôle dans le soutien à l'adaptation aux changements climatiques.

## 7.10 Aller de l'avant

### 7.10.1 Manque de connaissances et nouveaux enjeux

Il a été constaté depuis plus d'une décennie que, dans la plupart des situations, les connaissances existantes sont suffisantes pour commencer à prendre des mesures d'adaptation au Canada (Lemmen et coll., 2008). Néanmoins, la nécessité d'accélérer la mise en œuvre des mesures d'adaptation a été reconnue dans les analyses scientifiques et politiques à l'échelle mondiale et nationale (p. ex., Conseil des académies canadiennes, 2019; GIEC, 2018; gouvernement du Canada, 2016; CCNUCC, 2015). L'évaluation des risques et des opportunités est souvent une condition préalable à l'augmentation des investissements dans l'adaptation. Il existe une large gamme de méthodologies, la plus appropriée étant déterminée par de nombreux facteurs, notamment la portée et l'objectif de l'évaluation et les ressources disponibles (p. ex., la stratégie du ministère de l'Environnement et des changements climatiques de la Colombie-Britannique, 2019). Le Conseil des académies canadiennes a entrepris une évaluation pour classer par ordre de priorité les risques liés aux changements climatiques pour le Canada et le gouvernement du Canada, en se basant en grande partie sur le jugement collectif d'experts (Conseil des académies canadiennes, 2019). Les principaux domaines à risque en matière de changements climatiques comprennent certains des secteurs examinés dans ce chapitre en tant que sections autonomes (agriculture, pêche, foresterie) ainsi que des thèmes qui y sont intégrés tout au long (p. ex., l'infrastructure physique ainsi que la gouvernance et la capacité). Il est important de noter que l'analyse a pris en compte le potentiel de réduction des dommages par l'adaptation, en plus de la probabilité et des conséquences potentielles associées à chaque risque. Parmi les sujets abordés dans ce chapitre, les infrastructures (y compris les transports) et l'agriculture ont été identifiées comme ayant le plus grand potentiel d'adaptation, et la pêche le plus faible (Conseil des académies canadiennes, 2019).

Si de nombreux facteurs contribuent à l'absence de progrès en matière d'adaptation, les incertitudes et les manques de connaissances sont fréquemment soulignés comme un obstacle à l'action (Eyzaguirre et Warren, 2014). Le manque de connaissances propre à chaque secteur est établi dans les sections précédentes de ce chapitre et les publications citées dans ces sections. Il existe également un certain nombre de nouveaux enjeux communs qui constituent un manque de connaissances important en ce qui concerne les secteurs économiques au Canada.

#### L'état de l'adaptation dans le secteur privé

Si la divulgation d'informations sur le climat apparaît comme un instrument clé pour comprendre comment le secteur privé évalue les risques climatiques physiques et y répond (voir le chapitre « [Divulgation, litiges et aspects financiers liés aux changements climatiques](#) »; GTDFC, 2017), ces informations sont largement limitées aux grandes entreprises cotées en bourse. Très peu d'informations sont disponibles sur les mesures d'adaptation prises par les petites et moyennes entreprises, même si nombre d'entre elles sont très exposées aux risques climatiques. Les enquêtes de référence (p. ex., Earncliffe Strategy Group, 2018) fournissent une base pour les travaux futurs.

## Impacts climatiques transnationaux

Appelés également impacts transfrontaliers ou indirects, ils désignent les impacts climatiques qui se produisent dans un pays et qui affectent les mesures d'adaptation prises dans d'autres pays (Hedlund et coll., 2018). Elles pourraient concerner les impacts sur les chaînes d'approvisionnement mondiales, la compétitivité internationale, les flux financiers et le commerce (voir le chapitre « [Dimensions internationales](#) »). Par exemple, les inondations en Thaïlande en 2011 ont perturbé les chaînes d'approvisionnement mondiales de l'électronique et de l'automobile, entraînant des répercussions économiques dans de nombreux pays et entreprises (Shughrue et Seto, 2018). L'ampleur de ces vulnérabilités au Canada est essentiellement inconnue, bien que des recherches menées ailleurs indiquent que les économies ouvertes et fortement exportatrices sont particulièrement exposées (Hedlund et coll., 2018).

## Interdépendances

Une grande partie de la recherche sectorielle existante qui examine les impacts climatiques au Canada et ailleurs s'est concentrée sur des secteurs individuels. Si l'importance de comprendre les interdépendances entre les secteurs s'accroît (voir la section 7.7.3), l'analyse quantitative de ces liens reste limitée. Sans une telle analyse, il est possible de sous-estimer considérablement les risques liés aux changements climatiques (Conseil des académies canadiennes, 2019).

## Possibilité d'actifs délaissés

La compréhension du risque que les actifs perdent une valeur importante à la suite de changements de politique visant à lutter contre les changements climatiques est bien développée, notamment en ce qui concerne le secteur de l'énergie (p. ex., Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2018; GIEC, 2018). Beaucoup moins d'attention a été accordée, en particulier au Canada, aux actifs délaissés qui pourraient résulter des impacts physiques des changements climatiques (voir Circle of Blue, 2018 pour des exemples liés aux ressources en eau). Au Canada, la fermeture de la liaison ferroviaire avec le port de Churchill pendant 18 mois à la suite d'une inondation représente un délaissement temporaire des actifs du port (voir la section 7.7.2).

## Renforcement de l'analyse économique

Un obstacle couramment cité à la mise en œuvre de mesures d'adaptation est l'absence d'un dossier commercial convaincant (Eyzaguirre et Warren, 2014). Bien qu'il existe des exemples d'analyses économiques détaillées, notamment des analyses coûts-avantages, coûts-efficacité et multicritères (p. ex., CCNUCC, 2011), l'application de ces techniques est limitée au Canada (voir le chapitre « [Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation](#) »). À l'échelle nationale, l'analyse quantitative des impacts économiques dans le cadre d'une série de scénarios climatiques futurs fait défaut, ce qui pourrait entraver l'action visant à renforcer la résilience aux changements climatiques et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

## 7.11 Conclusion

L'examen des messages clés spécifiques au secteur et les discussions connexes dans ce chapitre révèle plusieurs conclusions intégratives :

1. Un très large éventail d'activités sectorielles sont touchées par les changements climatiques, ce qui est évident même si les auteurs se concentrent sur un nombre limité de questions clés par secteur. Si la recherche s'est traditionnellement concentrée sur les impacts climatiques directs sur la production (p. ex., l'agriculture, la foresterie, la pêche et l'hydroélectricité) et, dans une moindre mesure, sur la demande des consommateurs (p. ex., l'énergie et le tourisme), il est clair que les impacts cumulés et en cascade des changements climatiques touchent en fin de compte pratiquement tous les éléments des systèmes sectoriels. Cette ampleur souligne l'intérêt des évaluations complètes des risques et des opportunités pour éclairer l'adaptation.
2. Il est important de comprendre les interconnexions au sein et entre de multiples secteurs (voir la section 7.7.3). Pour certains secteurs, tels que le transport, cela est particulièrement évident étant donné son rôle essentiel dans les chaînes d'approvisionnement (voir la section 7.7.3). La fiabilité et la résilience du système de transport de marchandises du Canada en ce qui a trait à l'accès aux marchés nationaux et internationaux sont une question cruciale pour la durabilité de l'agriculture au Canada (voir la section 7.4.3). La réaction du secteur forestier aux feux de forêt a des implications pour de nombreux autres secteurs, notamment les coûts liés aux évacuations, aux dommages causés aux bâtiments, aux routes, aux pipelines et autres infrastructures physiques, à la fermeture d'entreprises et d'industries, et aux coûts d'assurance (voir la section 7.2.2). L'émergence du tourisme dans l'Arctique a des répercussions sociales et culturelles imprévues, et met à rude épreuve les capacités de recherche et de sauvetage (voir la section 7.8.3). D'autres études de modélisation pourraient contribuer à élucider la nature de ces interconnexions (voir la section 7.7.4).
3. L'adaptation a lieu dans tous les secteurs, mais elle doit être accélérée. Cela s'applique aux mesures qui réduisent les risques et à celles qui tirent parti des nouveaux débouchés. Il convient de noter qu'une adaptation réussie réduit non seulement la vulnérabilité des secteurs et des collectivités au Canada, mais renforce également la résilience mondiale (p. ex., la sécurité alimentaire) (voir les sections 7.3.1, 7.4.3). La plupart des exemples de mesures d'adaptation mises en œuvre se rapportent aux secteurs où les effets directs des changements climatiques sont déjà évidents. Les preuves d'une adaptation généralisée au sein du secteur privé sont particulièrement limitées, malgré le rôle clé qu'il joue dans tous les secteurs examinés ici (voir la section 7.9.2). La nécessité d'une collaboration utilisant une approche systémique qui inclut les producteurs, les gestionnaires d'actifs, les régulateurs, les chercheurs et les intervenants pertinents est un besoin souvent constaté (voir les sections 7.2.3, 7.4.1, 7.5.5, 7.6.4, 7.7.4). Enfin, il est extrêmement important de faire le suivi des mesures d'adaptation qui ont été mises en œuvre et d'en rendre compte afin d'éclairer la planification (voir les sections 7.5.4, 7.6.4, 7.10).

4. Il est urgent d'accélérer les mesures d'adaptation. L'urgence est particulièrement évidente lorsque les risques climatiques actuels ne sont pas gérés de manière adéquate et lorsque les décisions d'investissement prises aujourd'hui ont des implications qui s'étendront sur de nombreuses décennies : par exemple, les décisions concernant les infrastructures (voir les sections 7.6, 7.7, 7.8), la gestion des forêts (voir la section 7.2) et la restauration des mines (voir la section 7.5). Bien que l'adaptation proactive soit généralement reconnue comme étant plus efficace et plus rentable que les approches réactives (c.-à-d. répondre aux impacts au fur et à mesure qu'ils se produisent), et qu'elle offre des possibilités d'innovation et d'avantage concurrentiel (p. ex., Eyzaguirre et Warren, 2014), il est reconnu que les décisions d'investissement dans les secteurs public et privé se prennent dans un contexte de priorités concurrentes et de coûts d'opportunité connexes. Des évaluations complètes des risques et des opportunités peuvent être essentielles afin de déterminer les priorités, en particulier celles qui incluent la prise en compte du potentiel d'adaptation (voir les sections 7.7.3, 7.8.5, 7.10). Il est également urgent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, car le nombre d'options d'adaptation viables diminue lorsque le taux de changements climatiques est élevé, et les limites de l'adaptation peuvent être dépassées (GIEC, 2018, 2014).

## 7.12 Références

- Adams, C.F., Alade, L.A., Legault, C.M., O'Brien, L., Palmer, M.C., Sosebee, K.A. et Traver, M.L. (2018). « Relative importance of population size, fishing pressure and temperature on the spatial distribution of nine Northwest Atlantic groundfish stocks ». *PLoS ONE*, 13(4), e0196583. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196583>>
- Agence internationale de l'énergie (2015). « Making the energy sector more resilient to climate change ». COP 21 Resilience Brochure. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iea.org/reports/making-the-energy-sector-more-resilient-to-climate-change>>
- Agence internationale de l'énergie (2016a). « Key World Energy Statistics 2016 ». Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.oecd-ilibrary.org/energy/key-world-energy-statistics-2016\\_key\\_energy\\_stat-2016-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/key-world-energy-statistics-2016_key_energy_stat-2016-en)>
- Agence internationale de l'énergie (2016b). « International Energy Agency Workshop Report Sixth Forum on the Climate-Energy Security Nexus ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iea.org/events/6th-forum-on-the-climate-energy-security-nexus-emerging-best-practices-and-lessons-for-north-america>>
- Agence internationale de l'énergie (2018). « Getting Wind and Sun onto the Grid: A Manual for Policy Makers ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-77295-ea.pdf>>
- Agence internationale pour les énergies renouvelables [CRI] (2018). « Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 ». 76 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Report\\_GET\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf)>
- Agrawala, S., Carraro, M., Kingsmill, N., Lanzi, E., Mullan, M. et Prudent-Richard, G. (2011). « Private Sector Engagement in Adaptation to Climate Change ». OECD Environment Working Papers 39, OECD Publishing. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/5kg221jkd1g7-en>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2016). Vue d'ensemble du système agricole et agroalimentaire canadien 2016. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.agr.gc.ca/fra/a-propos-de-notre-ministere/publications/publications-economiques/vue-d-ensemble-du-systeme-agricole-et-agroalimentaire-canadien-2016/?id=1462288050282>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2018). « Climate change scenario maps drawn from CMIP5 data -26 GCMs as supplied by PCIC ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.pacificclimate.org/data/statistically-downscaled-climate-scenarios>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada (2019). Guetter la sécheresse. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.agr.gc.ca/fra/agriculture-et-climat/guetter-la-secheresse/?id=1461263317515>>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada et Agence canadienne d'inspection des aliments (2008). « Invasive Alien Species (IAS) Backgrounder ». Agriculture and Agri-Food Portfolio, Environmental Health Research Branch, AAFC and Plant Health Division, Policy and Programs Branch, CFIA.
- Alin, S., Evans, W., Gao, Z., Gurney-Smith, H., Lee, K. et Tischenko, P. (2019). « Ocean acidification and deoxygenation in the North Pacific Ocean ». J. Christian and T. Ono (éd), PICES Special Publication 6, 116 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://meetings.pices.int/publications/special-publications/Special-Report%205-Ocean\\_Acidification.pdf](https://meetings.pices.int/publications/special-publications/Special-Report%205-Ocean_Acidification.pdf)>
- Allen, R., Whelen, M. et Khan, A. (2016). « Building Resilience to Counter the Impact of International Supply Chain Vulnerabilities ». Canadian Transportation Research Forum, 8 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ctrf.ca/wp-content/uploads/2016/05/CTRF2016AllenWhelenKhanLogisticsTrade.pdf>>
- Alliance canadienne du commerce agroalimentaire (2020). Commerce agroalimentaire. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://cafta.org/fr/commerce-agroalimentaire/>>
- Amec Foster Wheeler Environment Infrastructure (2017). « Canada's Climate Change Adaptation Platform: Infrastructure and Buildings Working Group Adaptation State of Play Report ». 162 p.
- American Council on Renewable Energy (2018). « The role of Renewable Energy in National Security ». Consulté en juin 2020 sur le site <[https://acore.org/wp-content/uploads/2018/10/ACORE\\_Issue-Brief\\_-The-Role-of-Renewable-Energy-in-National-Security.pdf](https://acore.org/wp-content/uploads/2018/10/ACORE_Issue-Brief_-The-Role-of-Renewable-Energy-in-National-Security.pdf)>
- Andersland, O.B. et Ladanyi, B. (2003). « Frozen ground engineering ». John Wiley and Sons, 384 p.
- Andrews-Key, S.A. (2018). « Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Sustainable Forest Management and the Forest Industry in Saskatchewan (PhD Thesis) ». University of Saskatchewan. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://hdl.handle.net/10388/11671>>

Andrey, J. et Palko, K. (2017). Introduction, dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 2–10. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/risques-climatiques-et-pratiques-en-matiere-dadaptation-pour-le-secteur-canadien-des-transport-2016/19630?ga=2.35490722.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

Antunes, P., Bernard, M.-C. et Owusu, P. (2016). « The Economic Impacts of the 2016 Alberta Wildfires ». The Conference Board of Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?did=8420>>

Arzhanov, M.M., et Mokhov, I.I. (2013). « Temperature trends in the permafrost of the Northern Hemisphere: Comparison of model calculations with observations ». *Doklady Earth Sciences*, 449(1), 319–323. Consulté en juin 2020 sur le site <[10.1134/S1028334X1303001X](https://doi.org/10.1134/S1028334X1303001X)>

Astrup, R., Bernier, P. Y., Genet, H., Lutz, D. A. et Bright, R. M. (2018). « A sensible climate solution for the boreal forest ». *Nature Climate Change*, 8, 11–12. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41558-017-0043-3>>

Associated Engineering Limited (2018). « Final Report: Improving Coastal Flood Adaptation Approaches ». Fédération canadienne des municipalités MCIP 15274. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.surrey.ca/files/CFAS-ICFAA-FinalReport-29032018.pdf>>

Association canadienne de l'électricité (2016). « Adapting to Climate Change: State of Play and Recommendations for the Electricity Sector in Canada ». Consulté en juin 2020 sur le site <[https://electricity.ca/wp-content/uploads/2016/02/The\\_Canadian\\_Electricity\\_Association\\_Releases\\_a\\_Roadmap\\_to\\_Climate\\_Change\\_Adaptation\\_final.pdf](https://electricity.ca/wp-content/uploads/2016/02/The_Canadian_Electricity_Association_Releases_a_Roadmap_to_Climate_Change_Adaptation_final.pdf)>

Association canadienne des barrages (2013). Directives sur la sécurité des barrages. Bibliothèque et Archives Canada, Catalogage avant publication, Ottawa, Ontario.

Association des Stations de Ski du Québec (2016). Congrès 2016: Le Québec a atteint le 5,125 millions de jours/ski pour la saison 2015–2016. Tourismexpress. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://tourismexpress.com/nouvelles/congres-assq-2016-le-quebec-a-atteint-le-5-125-millions-de-jours-ski-pour-la-saison-2015-16>>

Aubertin, M., Bussière, B. et Bernier, L. (2002). Environnement et gestion des résidus miniers. Presses Internationales de Polytechnique, Corporation de l'École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada.

Aubertin, M., Bussière, B., Barbera, J.M., Chapuis, R.P., Monzon, M. et Aachib, M. (1997). « Construction and instrumentation of in situ test plots to evaluate covers built with clean tailings ». 4<sup>th</sup> International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, British Columbia, Canada, vol. 2, 715–730.

Aubertin, M., Bussière, B., James, M., Jaouhar, E.M., Martin, V., Pépin, N., Mbonimpa, M. et Chapuis, R.P. (2011). Vers une mise à jour des critères de stabilité géotechnique pour la conception des ouvrages de retenue de résidus miniers. Symposium 2011 sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.

Aubertin, M., Bussière, B., Pabst, T., James, M. et Mbonimpa, M. (2016). « Review of the reclamation techniques for acid-generating mine wastes upon closure of disposal sites ». *Geo-Chicago 2016*, 343–358. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784480137.034>>

Aubertin, M., Pabst, T., Bussière, B., James, M., Mbonimpa, M. Benzaazoua et Maqsood, A. (2015). Revue des meilleures pratiques de restauration des sites d'entreposage de rejets miniers générateurs de DMA. Symposium 2015 sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, Québec, Canada.

Averchenkova, A., Crick, F., Kocornik-Mina, A., Leck, H. et Surminski, S. (2016). « Multinational and large national corporations and climate adaptation: Are we asking the right questions? A review of current knowledge and a new research perspective ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(4), 517–536. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.402>>

Azam, S. et Li, Q. (2010). « Tailings dam failures: a review of the last one hundred years ». *Geotechnical News*, 28(4), 50–54. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.semanticscholar.org/paper/Tailings-Dam-Failures%3A-A-Review-of-the-Last-One-Azam-Li/e57ebdac0a801b412cefd42017c2dded29cafd41>>

Banque asiatique de développement (2012). « Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29889/climate-risks-adaptation-power-sector.pdf>>

Banque asiatique de développement (2013). « Guidelines for Climate Proofing Investment in the Energy Sector ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.adb.org/documents/guidelines-climate-proofing-investment-energy-sector>>

Bansal, P., Kim, A. et Wood, M.O (2017). « Hidden in Plain Sight: The Importance of Scale on Organizational Attention to Issues ». *Academy of Management Review*, 43(2). January, amr.2014.0238. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5465/amr.2014.0238>>

- Barton, A., Hales, B., Waldbusser, G., Langdon, C. et Feely, R.A. (2012). « The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects ». *Limnology and Oceanography*, 57(3), 698–710. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.3.0698>>
- Beardy's et Okemasis' Cree Nation (s.d.). « Fire ». Consulté en janvier 2019 sur le site <<https://bofn9697.com/tag/fire>>
- Becken, S., Whittlesea, E., Schliephack, J. et Scott, D. (2020). « Tourism and climate change: evaluating the extent of policy integration ». *Journal of Sustainable Tourism*, 25(10), 1–18. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1745217>>
- Becker, A., Ng, A., McEvoy, D. et Mullett, J. (2018). « Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(2). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.508>>
- Bentz, B.J., Régnière, J., Fettig, C.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G., Negron, J.F. et Seybold, S.J. (2010). « Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects ». *BioScience*, 60(8), 602–613. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.8.6>>
- Berkhout, F. (2012). « Adaptation to Climate Change by Organizations ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(1), 91–106. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.154>>
- Bernier, P.Y., Gauthier, S., Jean, P.-O., Manka, F., Boulanger, Y., Beaudoin, A. et Guindon, L. (2016). « Mapping local effects of forest properties on fire risk across Canada ». *Forests*, 7(8), 157. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f7080157>>
- Berry, P., Clarke, K., Fleury, M.D. et Parker, S. (2014). Santé humaine, Chapitre 7 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 191–232. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapter7-Human-Health\\_Eng.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapter7-Human-Health_Eng.pdf)>
- Beverly, J.L. et Bothwell, P. (2011). « Wildfire evacuations in Canada 1980–2007 ». *Natural Hazards*, 59(1), 571–596. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9777-9>>
- Bindoff, N.L., Cheung, W.W.L., Kairo, J.G., Aristegui, J., Guinder, V.A., Hallberg, R., Hilmi, N., Jiao, N., Karim, M.S., Levin, L., O'Donoghue, S., Purca Cuicapusa, S.R., Rinkevich, B., Suga, T., Tagliabue, A. et Williamson, P. (2019). « Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities », dans *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama et N.M. Weyer (éd.). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-5/>>
- Blackwell, B.A., Shrimpton, G., Steele, F., Ohlson, D.W. et Needoba, A. (2008). « Development of a Wildfire Risk Management System for British Columbia Transmission Corporation's Rights-of-Way ». *Environment Concerns in Rights-of-Way Management 8th International Symposium*, 793–801. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/B978-044453223-7.50085-X>>
- Bladon, K.D. (2018). « Rethinking wildfires and forest watersheds ». *Science*, 359(6379), 1001–1002. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1126/science.aar8120>>
- Blight, G.H. (2010). « Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities ». Taylor and Francis Group, London, Royaume-Uni, CRC Press, 652 p.
- Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Jambor, J.L. et Weisener, C.G. (2003). « The geochemistry of acid mine drainage ». *Treatise on Geochemistry*, 9, 149–204. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09137-4>>
- Boiffin, J. et Munson, A.D. (2013). « Three large fire years threaten resilience of closed crown black spruce forests in eastern Canada ». *Ecosphere*, 4(5), 1–20. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/ES13-00038.1>>
- Bombardier Produits récréatifs (2017). Assemblée Générale Annuelle 2017. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://brp.gcs-web.com/fr/rapports-annuels?c=251742&p=irol-reportsannual>>
- Bonsal, B.R., Peters, D.L., Seglenieks, F., Rivera, A. et Berg, A. (2019). Évolution de la disponibilité de l'eau douce à l'échelle du Canada, Chapitre 6 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 261–342. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/6-0/>>
- Boucher, D., Boulanger, Y., Aubin, I., Bernier, P.Y., Beaudoin, A., Guindon, L. et Gauthier, S. (2018). « Current and projected cumulative impacts of fire, drought, and insects on timber volumes across Canada ». *Ecological Applications*, 28(5), 1245–1259. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/eap.1724>>

- Boulanger, Y., Gauthier, S. et Burton, P.J. (2014). « A refinement of models projecting future Canadian fire regimes using homogeneous fire regime zones ». *Canadian Journal of Forest Research*, 44(4), 365–376. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0372>>
- Boulanger, Y., Girardin, M., Bernier, P.Y., Gauthier, S., Beaudoin, A. et Guindon, L. (2017). « Changes in mean forest age in Canada's forests could limit future increases in area burned but compromise potential harvestable conifer volumes ». *Canadian Journal of Forest Research*, 47(6), 755–764. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0445>>
- Boyle, J., Cunningham, M. et Dekens, J. (2013). « Climate Change Adaptation and Canadian Infrastructure: A review of the literature ». International Institute of Sustainable Development Report, 35 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation\\_can\\_infrastructure.pdf](https://www.iisd.org/pdf/2013/adaptation_can_infrastructure.pdf)>
- Braun, M. (2016). De nouvelles normales climatiques pour la prévision de la demande d'électricité, Étude de cas préparé pour la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 10. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/programmes/etudes-de-cas-adaptation-energie/>>
- Braun, M. et Fournier, E. (2016). Études de cas d'adaptation dans le secteur de l'énergie – Surmonter les obstacles à l'adaptation. Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 114 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/programmes/etudes-de-cas-adaptation-energie/>>
- Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M. et Zhang, J. (2018). « Declining oxygen in the global ocean and coastal waters ». *Science*, 359(6371), eaam7240. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://science.sciencemag.org/sites/all/libraries/pdfjs/web/viewer.html?file=/content/sci/359/6371/eaam7240.full.pdf>>
- Bresson, É., Demers, I., Chavallaz, Y., Roy, P. et Pabst, T. (2018). « Effectiveness of oxygen barriers as reclamation methods under climate change: definition of a drought index ». Actes de la conférence Tailings and Mine Waste 2018, Keystone, Colorado, USA. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.researchgate.net/publication/327158187\\_Effectiveness\\_of\\_oxygen\\_barriers\\_as\\_reclamation\\_methods\\_under\\_climate\\_change\\_definition\\_of\\_a\\_drought\\_index](https://www.researchgate.net/publication/327158187_Effectiveness_of_oxygen_barriers_as_reclamation_methods_under_climate_change_definition_of_a_drought_index)>
- Brickman, D., Hebert, D. et Wang, Z. (2018). « Mechanism for the recent ocean warming events on the Scotian Shelf of Eastern Canada ». *Continental Shelf Research*, 156(15), 11–22. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.01.001>>
- Brodeur, R., Perry, I., Boldt, J., Flostrand, L., Galbraith, M., King, J., Murphy, J., Sakuma, K. et Thompson, A. (2018). « An unusual gelatinous plankton event in the NE Pacific: The Great Pyrosome Bloom of 2017 ». *PICES Press*, 26(1), 22–27. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.researchgate.net/publication/322665037\\_An\\_unusual\\_gelatinous\\_plankton\\_event\\_in\\_the\\_NE\\_Pacific\\_The\\_Great\\_Pyrosome\\_Bloom\\_of\\_2017](https://www.researchgate.net/publication/322665037_An_unusual_gelatinous_plankton_event_in_the_NE_Pacific_The_Great_Pyrosome_Bloom_of_2017)>
- Brown, C.D. et Johnstone, J.F. (2012). « Once burned, twice shy: Repeat fires reduce seed availability and alter substrate constraints on *Picea mariana* regeneration ». *Forest Ecology and Management*, 266, 34–41. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.006>>
- Bureau d'assurance du Canada (2016). Les feux de forêt de l'Alberta : la catastrophe naturelle la plus chère de toute l'histoire du Canada. Consulté en janvier 2020 sur le site <<http://www.abc.ca/fr/bc/ressources/centre-des-médias/communiqués-de-presse/les-feux-de-forêt-de-l'alberta-la-catastrophe-naturelle-la-plus-chère-de-toute-l'histoire-du-canada>>
- Bureau d'assurance du Canada (2019). Assurances de dommages au Canada 2019, 41e édition. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts\\_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf](http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf)>
- Bureau of Transportation Statistics (2018). « Border Crossing/Entry Data ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.bts.gov/content/border-crossingentry-data>>
- Burton, P.J. (2010). « Striving for sustainability and resilience in the face of unprecedented change: the case of the mountain pine beetle outbreak in British Columbia ». *Sustainability*, 2(8), 2403–2423. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su2082403>>
- Bush, E. et Lemmen, D.S. (Eds.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 444. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>
- Bussièrre, B. (2007). « Colloquium 2004: Hydrogeotechnical properties of hard rock tailings from metal mines and emerging geoenvironmental disposal approaches ». *Canadian Geotechnical Journal*, 44(9), 1019–1052. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/T07-040>>
- Bussièrre, B., Aubertin, M. et Chapuis, R.P. (2003). « The behavior of inclined covers used as oxygen barriers ». *Canadian Geotechnical Journal*, 40(3), 512–535. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/t03-001>>

Bussière, B., Aubertin, M., Zagury, G. J., Potvin, R. et Benzaazoua, M. (2005). Principaux défis et pistes de solution pour la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers abandonnées. Symposium 2005 sur l'environnement et les mines. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.researchgate.net/publication/267855816-PRINCIPAUX\\_DEFIS\\_ET\\_PISTES\\_DE\\_SOLUTION\\_POUR\\_LA\\_RESTAURATION\\_DES\\_AIRES\\_D'ENTREPOSAGE\\_DE\\_REJETS\\_MINIERS\\_ABANDONNEES](https://www.researchgate.net/publication/267855816-PRINCIPAUX_DEFIS_ET_PISTES_DE_SOLUTION_POUR_LA_RESTAURATION_DES_AIRES_D'ENTREPOSAGE_DE_REJETS_MINIERS_ABANDONNEES)>

Bussière, B., Potvin, R., Dagenais, A., Aubertin, M., Maqsood, A. et Cyr, J. (2009). Restauration du site minier Lorraine, Latulipe, Québec: Résultats de 10 ans de suivi. *Déchets – Revue francophone d'écologie industrielle*, 1–16. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.1254>>

Bussière, B., Demers, I., Charron, P., Bossé, B., Roy, P., Jébrak, M. et Trépanier, S. (2017). Analyse de risques et de vulnérabilités liés aux changements climatiques pour le secteur minier québécois, 331 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://mern.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/analyse-changements-climatiques-secteur-minier.pdf>>

Calkin, D.E., Cohen, J.D., Finney, M.A. et Thompson, M.P. (2014). « How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(2), 746–751. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1315088111>>

Campbell, I.D., Durant D.G., Hunter, K.L. et Hyatt, K.D. (2014). La production alimentaire, Chapitre 4 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 99–134. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?ga=2.116836869.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2011). « Assessing the costs and benefits of adaptation options: An overview of approaches ». Consulté en juin 2020 sur le site <[https://unfccc.int/resource/docs/publications/pub\\_nwp\\_costs\\_benefits\\_adaptation.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/pub_nwp_costs_benefits_adaptation.pdf)>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2012). « Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change ». Consulté en juin 2020 sur le site <[http://unfccc.int/adaptation/workstreams/nairobi\\_work\\_programme/items/6547.php](http://unfccc.int/adaptation/workstreams/nairobi_work_programme/items/6547.php)>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2015). L'Accord de Paris. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/french\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf)>

Centre d'expertise hydrique du Québec (2019). Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Consulté en mai 2019 sur le site <[www.cehq.gouv.qc.ca](http://www.cehq.gouv.qc.ca)>

Chandler, P.C., King, S.A. et Perry, R.I. (Eds.) (2016). « State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2015 ». *Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences*, 3179, viii + 230 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/365564.pdf>>

Christianson, A. (2015). « Social science research on Indigenous wildfire management in the 21st century and future research needs ». *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 190–200. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF13048>>

Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R.B., Piao, S. et Thornton, P. (2013). « Carbon and Other Biogeochemical Cycles », dans *Changements climatiques 2013 – les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC*, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter06\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf)>

Circle of Blue (2018). « Stranded Assets ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.circleofblue.org/stranded-assets>>

Claireaux, G. et Chabot, D. (2016). « Responses by fishes to environmental hypoxia: integration through Fry's concept of aerobic metabolic scope ». *Journal of Fish Biology*, 88, 232–251. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfb.12833>>

Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques [CVIIP] (s.d.). Le protocole d'ingénierie du CVIIP. Ingénieurs Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://pievc.ca/fr/le-protocole-dingenierie-du-cviip>>

Comptables professionnels agréés Canada (2016a). « How Organizations Can Adapt to Climate Change ». Comptables professionnels agréés Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cpacanada.ca/-/media/site/business-and-accounting-resources/docs/climate-change-mitigation-adaptation-brief-2-how-organizations-can-adapt-to-climate-change-february-2016.pdf?la=en&hash=53D86B64BA875656F49B457BD7CCFB5D4B94859F>>

Comptables professionnels agréés Canada (2016b).

« Adaptation Case Study #4: The Co-Operators ». Comptables professionnels agréés Canada. <<https://www.cpacanada.ca/-/media/site/business-and-accounting-resources/docs/climate-change-adaptation-case-study-4-the-co-operators-october-2015.pdf?la=en&hash=6A57F3569EF436E13C7E2BB0DA6184D7BE4EDF6B>>

Conseil canadien des ministres des forêts (s.d.). Changements climatiques. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ccfm.org/francais/coreproducts-cc.asp>>

Conseil des académies canadiennes (2019). « Canada's Top Climate Change Risks ». Le groupe d'experts sur les risques liés au changements climatiques et le potentiel d'adaptation, Conseil des académies canadiennes, Ottawa, Ontario, 70 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://cca-reports.ca/wp-content/uploads/2019/07/Report-Canada-top-climate-change-risks.pdf>>

Conseil mondial de l'énergie, Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) et Cambridge Judge Business School (2014). « Climate Change: Implications for the Energy Sector, IPCC Climate Science Business Briefings ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cisl.cam.ac.uk/business-action/low-carbon-transformation/ipcc-climate-science-business-briefings/energy>>

Coulombe, S., Bernier, P.Y. et Raulier, F. (2010). « Uncertainty in detecting climate change impact on the projected yield of black spruce (*Picea mariana*) ». *Forest Ecology and Management*, 259(4), 730–738. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.028>>

Creed, I., Weber, M., Accatino, F. et Kreutzweiser, D. (2016). « Managing forests for water in the Anthropocene—the best kept secret services of forest ecosystems ». *Forests*, 7(3), 60. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f7030060>>

Cross Dependency Initiative (2019). « Building climate resilience across critical infrastructure », 4 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://xdi.systems/wp-content/uploads/2019/05/XDI\\_Sydney-A3toA4\\_singlepages.pdf](https://xdi.systems/wp-content/uploads/2019/05/XDI_Sydney-A3toA4_singlepages.pdf)>

Crossin, G.T., Al-Ayoub, S.A., Jury, S.H., Howell, W.H. et Watson III, W.H. (1998). « Behavioral thermoregulation in the American lobster *Homarus americanus* ». *Journal of Experimental Biology*, 207, 365–374. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://jeb.biologists.org/content/jexbio/201/3/365.full.pdf>>

Cruz, A.M. et Krausmann, E. (2013). « Vulnerability of the oil and gas sector to climate change and extreme weather events ». *Climatic Change*, 121(1), 41–53. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-013-0891-4>>

CTV (2018). « All aboard: First passenger train in 18 months departs for Churchill, Man. » Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ctvnews.ca/mobile/canada/all-aboard-first-passenger-train-in-18-months-departs-for-churchill-man-1.4201440>>

Da Silva, L., Desrochers, F.-A., Pineault, K., Gosselin, C.-A., Grenier, P. et Larose, G. (2019). Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec. Ouranos, Montréal, 119 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDaSilva2019.pdf>>

Dagenais, A.-M., Aubertin, M., Bussière, B., Bernier, L. et Cyr, J. (2001). « Monitoring at the Lorraine Mine Site: A Follow-Up on the Remediation Plan ». National Association of Abandoned Mine Land Programs Annual Conference, August 19–22, Athens, Ohio, 19 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.492.4689&rep=rep1&type=pdf>>

Daniel, C.J., Ter-Mikaelian, M.T., Wotton, B.M., Rayfield, B. et Fortin, M.-J. (2017). « Incorporating uncertainty into forest management planning: Timber harvest, wildfire and climate change in the boreal forest ». *Forest Ecology and Management*, 400, 542–554. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.039>>

Dawson, J., Stewart, E.J., Lemelin, R.H. et Scott, D. (2010). « The carbon cost of polar bear viewing tourism in Churchill, Canada ». *Journal of Sustainable Tourism*, 18(3), 319–336. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669580903215147>>

Dawson, J., Stewart, E.J., Johnston, M.E. et Lemieux, C.J. (2016). « Identifying and evaluating adaptation strategies for cruise tourism in Arctic Canada ». *Journal of Sustainable Tourism*, 24(10), 1425–1441. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1125358>>

Dawson, J., Copland, L., Johnston, M.E., Pizzolato, L., Howell, S., Pelot, R., Etienne, L., Matthews, L. and Parsons, J. (2017). « Climate change adaptation strategies and policy options for Arctic shipping ». Rapport préparé pour Transports Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/36016>>

Dawson, J., Pizzolato, L., Howell, S., Copland, L. et Johnston, M. (2018). « Temporal and spatial patterns of ship traffic in the Canadian Arctic from 1990 to 2015 ». *Arctic*, 71(1), 15–26. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.14430/arctic4698>>

Dawson, R. (2015). « Handling interdependencies in climate change risk assessment ». *Climate*, 3(4), 1079–1096. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/cli3041079>>

- Department of Energy des États-Unis (2016). « Climate Change and the Electricity Sector: Guide for Climate Change Resilience Planning ». Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/Climate%20Change%20and%20the%20Electricity%20Sector%20Guide%20for%20Climate%20Change%20Resilience%20Planning%20September%202016\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/Climate%20Change%20and%20the%20Electricity%20Sector%20Guide%20for%20Climate%20Change%20Resilience%20Planning%20September%202016_0.pdf)>
- Department of Environment, Food and Rural Affairs (2011). « Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate ». 71 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69269/climate-resilient-infrastructure-full.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69269/climate-resilient-infrastructure-full.pdf)>
- Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., Thackeray, C. et Kirchmeier-Young, M. (2019). Évolution de la neige, de la glace et du pergélisol à l'échelle du Canada, Chapitre 5, dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 194–260. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/5-0/>>
- Dewar, J.A. et Wachs, M. (2008). « Transportation planning, climate change, and decision making under uncertainty ». Transportation Research Board, 26 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290dewarwachs.pdf>>
- Dixon, L., Tsang, F. et Fitts, G. (2018). « The Impact of Changing Wildfire Risk on California's Residential Insurance Market ». The RAND Corporation, California, USA, 105 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://climateassessment.ca.gov/techreports/docs/20180827-Forests\\_CCCA4-CNRA-2018-008.pdf](http://climateassessment.ca.gov/techreports/docs/20180827-Forests_CCCA4-CNRA-2018-008.pdf)>
- Doré, G. et Zubeck, H. K. (2009). « Cold regions pavement engineering ». ASCE Press, Reston, Virginia, 403 p.
- Dougherty-Choux, L., Terpstra, P., Kamila, S. et Kurukulasuriya, P. (2015). « Adapting from the Ground Up ». World Resources Institute, Washington, DC. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.preventionweb.net/go/47027>>
- Downing, T.E. (2012). « Views of the frontiers in climate change Adaptation economics ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(2), 161–70. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.157>>
- Dubois, A., Hulthen, K. et Pedersen, A. (2011). « Interdependence Within and Among "Supply Chains" ». 21 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.researchgate.net/profile/Kajsa\\_Hulthen/publication/242489338\\_INTERDEPENDENCE\\_WITHIN\\_AND\\_AMONG\\_aposSUPPLY\\_CHAINSapos/links/54006e0c0cf24c81027dec7e/INTERDEPENDENCE-WITHIN-AND-AMONG-aposSUPPLY-CHAINS-apos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kajsa_Hulthen/publication/242489338_INTERDEPENDENCE_WITHIN_AND_AMONG_aposSUPPLY_CHAINSapos/links/54006e0c0cf24c81027dec7e/INTERDEPENDENCE-WITHIN-AND-AMONG-aposSUPPLY-CHAINS-apos.pdf)>
- Dupont-Prinet, A., Vagner, M., Chabot, D. et Audet, C. (2013). « Impact of hypoxia on the metabolism of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70, 461–469. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0327>>
- Dymond, C.C., Spittlehouse, D.L., Tedder, S., Hopkins, K., McCallion, K. et Sandland, J. (2015). « Applying resilience concepts in forest management: a retrospective simulation approach ». *Forests*, 6(12), 4421–4438. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/f6124377>>
- Earncliffe Strategy Group (2018). « National Climate Change Adaptation Survey ». Rapport préparé pour la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa.
- Edwards, J.E., Pearce, C., Ogden, A.E. et Williamson, T.B. (2015). Changements climatiques et aménagement forestier durable au Canada: Guide d'évaluation de la vulnérabilité et d'intégration des mesures d'adaptation dans le processus décisionnel. Groupe de travail sur les changements climatiques du Conseil canadien des ministres des forêts, 172 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.ccfm.org/pdf/Guide%20vulnérabilité\\_2%20juin\\_FR.pdf](https://www.ccfm.org/pdf/Guide%20vulnérabilité_2%20juin_FR.pdf)>
- Ekstrom, J.A., Suatoni, L., Cooley, S.R., Pendelton, L.H., Waldbusser, G.G., Cinner, J.E., Ritter, J., Langdon, C., van Hooidonk, R., Gledhill, D., Wellman, K., Beck, M.W., Brander, L.M., Rittschof, D., Doherty, C., Edwards, P.E.T. et Portela, R. (2015). « Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification ». *Nature Climate Change*, 5, 207–214. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2508>>
- Environnement et Changement climatique Canada (2018). Centre canadien des services climatiques. Consulté en décembre 2019 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/centre-canadien-services-climatiques.html>>
- Environnement et Changement climatique Canada (2020). Évaluation stratégique des changements climatiques (révisée, octobre 2020) 20 p. Consulté en octobre 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/services/environnement/conservation/evaluation/evaluations-strategiques/changements-climatiques.html>>
- Eriksson, N. et Adamek, P. (2000). « The tailings pond failure at the Aznalcóllar mine, Spain ». British Columbia MEND ML/ARD Annual Workshop, 8 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://bc-mlard.ca/files/presentations/2016-19-ERIKSSON-ADAMEK-tailings-pond-failure-aznalcollar.pdf>>
- Ernst, B., Orensanz, J.M. et Armstrong, D.A. (2005). « Spatial dynamics of female snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the eastern Bering Sea ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 250–268. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/f04-201>>

Ethier, M.P., Bussière, B., Broda, S. et Aubertin, M. (2018). « Three-dimensional hydrogeological modeling to assess the elevated-water-table technique for controlling acid generation from an abandoned tailings site in Quebec, Canada ». *Hydrogeology Journal*, 26(4), 1201–1219. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10040-017-1713-y>>

Executive Office of the President (2013). « Economic benefits of increasing electric grid resilience to weather outages ». Consulté en juin 2020 sur le site <[http://energy.gov/sites/prod/files/2013/08/f2/Grid%20Resiliency%20Report\\_FINAL.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2013/08/f2/Grid%20Resiliency%20Report_FINAL.pdf)>

Eyzaguirre, J. et Warren, F.J. (2014). Adaptation : établir un lien entre la recherche et la pratique, Chapitre 9 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 253–286. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?ga=2.107348737.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

Eyzaguirre, J. (2016). FAQ 11: Comment les coûts des impacts de changements climatiques se comparent-ils aux coûts de l'adaptation? dans *Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer Clarke (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 270–272. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-l'evolution-du-climat/18391?ga=2.70050579.2004989672.1604510962-747965453.1597699329>>

Finlay, S.E., Moffat, A., Gazzard, R., Baker, D. et Murray, V. (2012). « Health impacts of wildfires ». *PLoS Currents Disasters, Edition 1*. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/4f959951cce2c>>

Finley, T. et Schuchard, R. (s.d.). Adapting to climate change: a guide for the transportation industry. BSR Industry Series, 7 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.bsr.org/reports/BSR\\_Climate\\_Adaptation\\_Issue\\_Brief\\_Transportation.pdf](https://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Transportation.pdf)>

FireSmart Canada (2018). « FireSmart Guidebook for the Oil and Gas Industry ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.firesmartcanada.ca/mdocs-posts/firesmart-guidebook-for-the-oil-and-gas-industry>>

FireSmart Canada (2019a). « FireSmart Videos ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.firesmartcanada.ca/resources-library/firesmart-videos>>

FireSmart Canada (2019b). « Vegetation Management ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.firesmartcanada.ca/what-is-firesmart/vegetation-management>>

Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., De Groot, W.J., Wotton, B.M. et Gowman, L.M. (2009). « Implications of changing climate for global wildland fire ». *International Journal of Wildland Fire*, 18(5), 483–507. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF08187>>

Flannigan, M., Cantin, A.S., De Groot, W.J., Wotton, M., Newbery, A. et Gowman, L.M. (2013). « Global wildland fire season severity in the 21st century ». *Forest Ecology and Management*, 294, 54–61. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.022>>

Fournier, É. (2016). Peaufiner les observations pour mieux gérer et concevoir les infrastructures hydroélectriques. Étude de cas préparé pour la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 9 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/CaseStudy2\\_FR\\_final.pdf](https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/CaseStudy2_FR_final.pdf)>

Furness, E. et Nelson, H. (2016). « Are human values and community participation key to climate adaptation? The case of community forest organisations in British Columbia ». *Climatic Change*, 135(2), 243–259. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-015-1564-2>>

Furrer, B., Hoffmann, V. et Marion S. (2009). « Banking and Climate Change: Opportunities and Risks ». SAM (Sustainable Asset Management), Zurich, 51 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://www.sustainabilitycompany.it/img/text/SAM\\_ETH\\_Study\\_Banking.pdf](http://www.sustainabilitycompany.it/img/text/SAM_ETH_Study_Banking.pdf)>

Fyfe, J., Derksen, C., Mudryk, L., Flate, G.M., Santer, B.D., Swart, N.C., Molotch, N.P., Zhang, X., Wan, H., Arora, V.K., Scinocca, J. et Jiao, Y. (2017). « Large near-term projected snowpack loss over the western United States ». *Nature Communications*, 8. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms14996>>

Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Pettigrew, B., Lefavre, D., Brickman, D., Devine, L., Lafleur, C. (2018). Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2017. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Document de recherche 2018/050, v + 79 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2019/mpo-dfo/fs70-5/Fs70-5-2018-050-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/mpo-dfo/fs70-5/Fs70-5-2018-050-fra.pdf)>

Gatin, J. et Johnston, M. (2017). « State of Play Report: Forestry Adaptation Initiatives across Canada ». Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Ottawa.

Gauthier, S., Bernier, P. Y., Boulanger, Y., Guo, J., Guindon, L., Beaudoin, A. et Boucher, D. (2015). « Vulnerability of timber supply to projected changes in fire regime in Canada's managed forests ». *Canadian Journal of Forest Research*, 45(11), 1439–1447. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0079>>

Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P.J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., Jayen, K., Le Goff, H. et Nelson, E.A. (2014). « Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest ». *Environmental Reviews*, 22(3), 256–285. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2013-0064>>

Gazeau, F., Parker, L.M., Comeau, S., Gattuso, J.-P., O'Connor, W.A., Martin, S., Pörtner, H.-O. et Ross, P. (2013). « Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs ». *Marine Biology*, 160 (8), 2207–2245. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s00227-013-2219-3>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012). Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique, Rapport spécial du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution de climat, C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, et P.M. Midgley (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 582 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2014). Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs, Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 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 (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 1–32. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgll\\_spm\\_fr.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgll_spm_fr.pdf)>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2018). « Summary for Policymakers », dans *Global Warming of 1.5°C (An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty)*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, et T. Waterfield (éd.). Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 24 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>>

GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2019). « Summary for Policymakers », dans *Climate Change and Land (An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems)*, P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi et J. Malley (éd.). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>>

Gill, A.M., Stephens, S.L. et Cary, G.J. (2013). « The worldwide "wildfire" problem ». *Ecological Applications*, 23(2), 438–454. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/10-2213.1>>

Gledhill, D.K., White, M.M., Salisbury, J., Thomas, H., Mlsna, I., Liebman, M., Mook, B., Grear, J., Candelmo, A.C., Chambers, R.C., Gobler, C.J., Hunt, C.W. King, A.L., Price, N.N., Signorini, S.R., Stancioff, E., Stymiest, C., Wahle R.A., Waller, J.D., Rebeck, N.D., Wang, Z.A., Capson, T.L., Morrison, J.R., Cooley, S.R. et Doney, S.C. (2015). « Ocean and Coastal Acidification off New England and Nova Scotia ». *Oceanography*, 28(2), 182–197. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5670/oceanog.2015.41>>

Goertzen, S. (2018). « Agricultural Solutions to Climate Change: Findings from the Manitoba Agriculture Climate Initiative ». *Keystone Agricultural Producers*, 30 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://486d1ae5-bba6-4d54-8d48-301060955887.filesusr.com/ugd/b43985\\_b680623ee3504c099fc30c3ccf48d960.pdf](https://486d1ae5-bba6-4d54-8d48-301060955887.filesusr.com/ugd/b43985_b680623ee3504c099fc30c3ccf48d960.pdf)>

Goodrick, S.L., Achtemeier, G.L., Larkin, N.K., Liu, Y. et Strand, T.M. (2013). « Modelling smoke transport from wildland fires: a review ». *International Journal of Wildland Fire*, 22(1), 83–94. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF11116>>

Gouvernement du Canada (2016). Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques : plan canadien de lutte contre les changements climatiques. 77 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2017/eccc/En4-294-2016-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/eccc/En4-294-2016-fra.pdf)>

Gouvernement du Canada (2020). Évacuations lors des feux de forêt. Ressources naturelles Canada. Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/climate-change-impacts-forests/forest-change-indicators/wildland-fire-evacuations/17787>>

Gray, R. (2015). « The Economic Impacts of Elevated Export Basis Levels on Western Canadian Grain Producers 2012/13, 2013/14, and 2014/15 ». Rapport soumis à la Saskatchewan Wheat Development Commission. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://static1.squarespace.com/static/5c40f31a620b85cf0d073e7b/t/5cdd901fc9048b0001f4599d/1558024227090/The-Economic-Impacts-Of-Elevated-Export-Basis-Levels-On-Western-Canadian-Grain-Producers-2012-2015.pdf>>

Greenan, B.J.W., James, T.S., Loder, J.W., Pepin, P., Azetsu-Scott, K., Ianson, D., Hamme, R.C., Gilbert, D., Tremblay, J.-E., Wang, X.L. et Perrie, W. (2019a). Changements touchant les océans qui bordent le Canada. Chapitre 7 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 343–423. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/7-0/>>

Greenan, B.J.W., Shackell, N.L., Ferguson, K., Greyson, P., Cogswell, A., Brickman, D., Wang, Z., Cook, A., Brennan, C.E. et Saba, V.S. (2019b). « Climate Change Vulnerability of American Lobster Fishing Communities in Atlantic Canada ». *Frontiers in Marine Science*, 6, 579 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00579>>

Groulx, M., Lemieux, C., Dawson, J., Stewart, E. et Yudina, O. (2016). « Motivations to engage in last chance tourism in the Churchill wildlife management area and Wapusk National Park: The role of place identity and nature relatedness ». *Journal of Sustainable Tourism*, 24(11), 1523–1540. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1134556>>

Groulx, M., Lemieux, C.J., Lewis, J.L. et Brown, S. (2017). « Understanding consumer behaviour and adaptation planning responses to climate-driven environmental change in Canada's parks and protected areas: a climate futurescapes approach ». *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(6), 1016–1035. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1192024>>

Groupe de travail sur l'adaptation en agriculture (2016). « Barriers to Adaptation ». Série d'articles analytiques, article #2, élaboré dans le cadre de la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques.

Groupe de travail sur le Cadre de gestion des urgences fédéral, provincial et territorial (2016). Cadre de gestion des urgences en agriculture au Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 22 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.agr.gc.ca/production-animale/gestion-des-urgences-en-agriculture/cadre-de-gestion-des-urgences-en-agriculture-au-canada/?id=1471644257525>>

GTDFC [Groupe de travail sur la divulgation de l'information financière relative aux changements climatiques] (2017). « Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-Related Financial Disclosures ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.fsb-tcfd.org/publications/final-recommendations-report/>>

Guitttonny, M., Bussière, B., Maqsood, A., Proteau, A., Ben Khouya, T. et Botula, Y.D. (2018). Colonisation racinaire dans les recouvrements miniers et impact sur leur fonctionnement. Actes du 6e symposium sur les mines et l'environnement, June 2018, Rouyn-Noranda, Canada.

Guthrie, R.H., Mitchell, S.J., Lanquaye-Opoku, N. et Evans, S. G. (2010). « Extreme weather and landslide initiation in coastal British Columbia ». *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(4), 417–428. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-119>>

Hanes, C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M.-A., Little, J. et Flannigan, M. (2018). « Fire regime changes in Canada over the last half century ». *Canadian Journal of Forest Research*, 49(3), 256–269. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0293>>

Hatchett, B. et Eisen, H. (2018). « Early season snowpack loss and implications for over-snow vehicle recreation travel planning ». *The Cryosphere*. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5194/tc-2018-181>>

He, W., Yang, J.Y., Qian, B., Drury, C.F., Hoogenboom G., He, P., Lapen, D. et Zhou, W. (2018). « Climate change impacts on crop yield, soil water balance and nitrate leaching in the semiarid and humid regions of Canada ». *PLoS ONE*, 13(11), e0207370. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207370>>

Hedlund, J., Fick, S., Carlsen, H. et Benzie, M. (2018). « Quantifying transnational climate impact exposure: New perspectives on the global distribution of climate risk ». *Global Environmental Change*, 52, 75–85. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.04.006>>

Henstra, D. et Thistlethwaite, J. (2017). « Climate Change, Floods, and Municipal Risk Sharing in Canada ». IMFG Papers on Municipal Finance and Governance, No. 30, Institute on Municipal Finance and Governance, Toronto, 48 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://munkschool.utoronto.ca/imfg/uploads/373/1917\\_imfg\\_no\\_30\\_online\\_final.pdf](https://munkschool.utoronto.ca/imfg/uploads/373/1917_imfg_no_30_online_final.pdf)>

Hewer, M. et Gough, W. (2018). « Thirty years of assessing the impacts of climate change on outdoor recreation and tourism in Canada ». *Tourism Management Perspectives*, 26, 179–192. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.07.003>>

Hirsch, K., Kafka, V., Tymstra, C., McAlpine, R., Hawkes, B., Stegehuis, H., Quintilio, S., Gauthier, S. et Peck, K. (2001). « Fire-smart forest management: a pragmatic approach to sustainable forest management in fire-dominated ecosystems ». *The Forestry Chronicle*, 77(2), 357–363. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5558/tfc77357-2>>

- Holubec, I. (2004). « Covers for Reactive Tailings Located in Permafrost Regions Review ». MEND Report 1.61. 6., Secteur des minéraux et des métaux, Ressources naturelles Canada, Ottawa. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://mend-nedem.org/wp-content/uploads/1.61.4CoversPermafrostRegions.pdf>>
- Hope, E.S., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stocks, B.J. et Gauthier, S. (2016). « Wildfire suppression costs for Canada under a changing climate ». *PLoS ONE*, 11(8), e0157425. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157425>>
- Hotton, G., Bresson, É., Bussière, B., Pabst, T., Demers, I. et Roy, P. (2018). « Assessment of CCBE performance with climate change: case study of the Lorraine mine site ». Proceedings of the Tailings and Mine Waste 2018 Conference, Keystone, Colorado, USA.
- Hotton, G., Bussière, B., Pabst, T., Bresson, E. et Roy, P. (2019). « Influence of climate change on the ability of a cover with capillary barrier effects to control acid generation ». *Hydrogeology Journal*. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10040-019-02084-y>>
- Hori, Y., Gough, W.A., Butler, K. et Tsuji, L.J.S. (2017). « Trends in the seasonal length and opening dates of a winter road in the western James Bay region, Ontario, Canada ». *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3), 1309–1320. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10/gbq6qv>>
- Hrycik, A.R., Almeida, L.Z. et Höök, T.O. (2017). « Sub-lethal effects on fish provide insight into a biologically-relevant threshold of hypoxia ». *Oikos*, 126, 307–317. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/oik.03678>>
- Ignaciuk, A. et Mason-D’Croz, D. (2014). « Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture ». OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 70, OECD Publishing, Paris. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/5jxrcljnbxq-en>>
- IIDD [Institut international du développement durable] (2017). « Building a Climate-Resilient City: Electricity and information and communication technology infrastructure ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iisd.org/library/building-climate-resilient-city-electricity-and-information-and-communication-technology>>
- ISO [International Standards Organization] (2018). ISO 31000:2018. Management du risque – Lignes directrices. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.iso.org/fr/standard/65694.html>>
- Jaglom, W.S., McFarland, J.R., Colley, M.F., Mack, C.B., Venkatesh, B., Miller, R.L., Haydel, J., Schultz, P.A., Perkins, B., Casola, J.H., Martinich, J.A., Cross, P., Kolian, M.J. et Kayin, S. (2014). « Assessment of projected temperature impacts from climate change on the U.S. electric power sector using the Integrated Planning Model® ». *Energy Policy*, 73, 524–539. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.032>>
- Jakob, M. et Lambert, S. (2009). « Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia ». *Geomorphology*, 107(3–4), 275–284. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.009>>
- Jewiss-Gaines A, Barelli, L. et Hunter, F.F. (2017). « First Records of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae), a Known Vector of Bluetongue Virus, in Southern Ontario ». *Journal of Medical Entomology*, 54(3), 757–762. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/jme/tjw215>>
- Johnston, L.M., Wang, X., Erni, S., Taylor, S.W., McFayden, C.B., Oliver, J.A., Stockdale, C., Christianson, A., Boulanger, Y., Gauthier, S., Arseneault, D., Wotton, B.M., Parisien, M.-A. et Flannigan, M.D. (2020). « Wildland fire risk research in Canada ». *Environmental Reviews*, 28(2), 164–186. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2019-0046>>
- Johnston, M., Dawson, J., De Souza, E. et Stewart, E.J. (2017). « Management challenges for the fastest growing marine shipping sector in Arctic Canada: Pleasure crafts ». *Polar Record*, 53(1), 67–78. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/S0032247416000565>>
- Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J. et Bowman, D.M.J.S. (2015). « Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 ». *Nature Communications*, 6, 7537. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms8537>>
- Jones, R.N. et Preston, B.L. (2011). « Adaptation and risk management ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2), 296–308. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.97>>
- Keppel, E.A., Scrosati, R.A. et Courtenay, S.C. (2012). « Ocean acidification decreases growth and development in American lobster (*Homarus americanus*) larvae ». *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 44, 61–66. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2960/J.v44.m683>>
- Kirchmeier-Young, M.C., Zwiers, F.W., Gillett, N.P. et Cannon, A.J. (2017). « Attributing extreme fire risk in Western Canada to human emissions ». *Climatic Change*, 144, 365–379. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2030-0>>
- Kopytko, N. et Perkins, J. (2011). « Climate change, nuclear power, and the adaptation–mitigation dilemma ». *Energy Policy*, 39(1), 318–333. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.046>>
- Koutsoyiannis, D. (1999). « A probabilistic view of Hershfield’s method for estimating probable maximum precipitation ». *Water Resources Research*, 35(4), 1313–1322. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/1999WR900002>>

- Kovacs, P. et Thistlethwaite, J. (2014). Industrie, Chapitre 5 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 135–158. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie\\_Fra.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre5-Industrie_Fra.pdf)>
- Kroeker, K.J., Kordas, R., Crim, R. et Singh, G. (2010). « Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms ». *Ecology Letters*, 13(11), 1419–1434. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01518.x>>
- Kumar, K., Holtz, M. D., Xi, K. et Turkington, T.K. (2013). « Overwintering potential of the stripe rust pathogen (*Puccinia striiformis*) in central Alberta ». *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(3), 304–314. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07060661.2013.809385>>
- Kwiatkowski, K. (2017). « Modeling Climate Change Adaptation in Transportation Infrastructure Organizations ». Thèses et mémoires d'études supérieures en génie civil, University of Colorado, 184 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://pdfs.semanticscholar.org/67fa/017e57f7e6009dccbdfabca788a6f2e13c90.pdf>>
- Le Bris, A., Mills, K.E., Wahle, R.A., Chen, Y., Alexander, M.A., Allyn, A.J., Schuetz, J.G., Scott, J.D. et Pershing, A.J. (2018). « Climate vulnerability and resilience in the most valuable North American fishery ». *Proceedings of the National Academies of Sciences USA*, 115, 1831–1836. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1711122115>>
- Leduc, A., Bernier, P.Y., Mansuy, N., Raulier, F., Gauthier, S. et Bergeron, Y. (2015). « Using salvage logging and tolerance to risk to reduce the impact of forest fires on timber supply calculations ». *Canadian Journal of Forest Research*, 45(4), 480–486. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0434>>
- Lemelin, R. H., Dawson, J., Stewart, E.J., Maher, P. et Luck, M. (2010). « Last-chance tourism: The boom, doom, and gloom of visiting vanishing destinations ». *Current Issues in Tourism*, 13(5), 477–493. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13683500903406367>>
- Lemieux C. J., Groulx, M., Halpenny, E., Stager, H., Dawson, J., Stewart, E.J. et Hvenegaard, G.T. (2017). « The End of the Ice Age?: Disappearing World Heritage and the Climate Change Communication Imperative ». *Environmental Communication*, 12(5), 653–671. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/17524032.2017.1400454>>
- Lemmen, D.S., Johnston, M., Ste-Marie, C. et Pearce, T. (2014). Ressources naturelles, Chapitre 3 dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 65–98. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre3-Ressources-naturelles\\_Fra.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Chapitre3-Ressources-naturelles_Fra.pdf)>
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., James, T.S. et Mercer Clarke, C.S.L. (éd.) (2016). Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 274 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391?\\_ga=2.3544816.1916456266.1604962435-747965453.1597699329](https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/le-littoral-maritime-du-canada-face-levolution-du-climat/18391?_ga=2.3544816.1916456266.1604962435-747965453.1597699329)>
- Lemmen, D.S., Warren, F.J., Lacroix, J. et Bush E. (Eds.) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/what-adaptation/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada/10254?\\_ga=2.206512083.1916456266.1604962435-747965453.1597699329](https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/what-adaptation/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada/10254?_ga=2.206512083.1916456266.1604962435-747965453.1597699329)>
- Linnenluecke, M.K., Stathakis, A. et Griffiths, A. (2011). « Firm relocation as adaptive response to climate change and weather extremes ». *Global Environmental Change*, 21(1), 123–33. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.09.010>>
- Linnenluecke, M. et Smith, T. (2018). « Adaptation of MSMEs to Climate Change: A Review of the Existing Literature », dans *Private-Sector Action in Adaptation: Perspectives on the Role of Micro, Small and Medium Size Enterprises*, C. Schaer et N. Kuruppu (éd.). UNEP DTU Partnership, Copenhagen, 19–27. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/162053774/MSME\\_Adaptation\\_updated\\_WEB.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/162053774/MSME_Adaptation_updated_WEB.pdf)>
- Linnenluecke, M., Griffiths, A. et Winn, M.I. (2013). « Firm and Industry Adaptation to Climate Change: A Review of Climate Adaptation Studies in the Business and Management Field ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4, 397–416. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.214>>
- Liu, J.C., Mickley, L.J., Sulprizio, M.P., Dominici, F., Yue, X., Ebisu, K., Anderson, G.B., Khan, R.F.A, Bravo, M.A. et Bell, M.L. (2016). « Particulate air pollution from wildfires in the Western US under climate change ». *Climatic Change*, 138(3–4), 655–666. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1762-6>>
- Lynch, D.L. (2004). « What Do Forest Fires Really Cost? » *Journal of Forestry*, 102(6), 42–49. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/jof/102.6.42>>

- Lysyk, T.J. et Dergousoff, S.J. (2014). « Distribution of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) in Alberta, Canada ». *Journal of Medical Entomology*, 51, 560–571. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1603/ME13239>>
- Mailhot, A., Panthou, G. et Talbot, G. (2014). Recommandations sur les majorations à considérer dans les courbes Intensité-durée-Fréquence (IDF) aux horizons 2040–2070 et 2070–2100 pour l'ensemble du Québec, Phase II. Ministère du Transport du Québec, 36 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://espace.inrs.ca/id/eprint/2421/1/R001515.pdf>>
- Man, T. (2013). « Infrastructure Interdependencies Timelines ». The Royal Academy of Engineering, Royaume-Uni, 17 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.raeng.org.uk/publications/responses/etf-infrastructure-interdependencies-report>>
- Mantle314 (2019). « Climate Adaptation in Canada's Oil and Gas Sector: Planning to Thrive in a Changing World ». Rapport soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada.
- Marchal, J., Cumming, S.G. et McIntire, E.J. (2017). « Land cover, more than monthly fire weather, drives fire-size distribution in Southern Quebec forests: Implications for fire risk management ». *PLoS ONE*, 12(9), e0185515. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179294>>
- Marras, S., Cucco, A., Antognarelli, F., Azzurro, E., Milazzo, M., Bariche, M., Butenschön, M., Kay, S., Di Bitetto, M. et Quattrocchi, G. (2015). « Predicting future thermal habitat suitability of competing native and invasive fish species: from metabolic scope to oceanographic modelling ». *Conservation Physiology*, 3, 1–14. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/conphys/cou059>>
- Marshall, G.N., Schell, T.L., Elliott, M.N., Rayburn, N.R. et Jaycox, L.H. (2007). « Psychiatric Disorders Among Adults Seeking Emergency Disaster Assistance After a Wildland-Urban Interface Fire ». *Psychiatric Services*, 58(4), 509–514. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1176/ps.2007.58.4.509>>
- Mazzacurati, E. (2018). « Advancing TCFD Guidance on Physical Climate Risks and Opportunities ». Four Twenty Seven, Paris, 56 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://427mt.com/2018/05/31/report-advancing-tcfd-guidance-physical-climate-risk-opportunities/>>
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N., et Xu, Y. (2019). « Food Security », dans *Climate Change and Land (An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems)*, P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, et J. Malley (éd.). Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/08\\_Chapter-5.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/08_Chapter-5.pdf)>
- McBean, G. (2012). « Telling the Weather Story ». Institut de prévention des sinistres catastrophiques et Bureau d'assurance du Canada. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://assets.abc.ca/Documents/Studies/McBean\\_Report.pdf](http://assets.abc.ca/Documents/Studies/McBean_Report.pdf)>
- McBoyle, G., Scott, D. et Jones, B. (2007). « Climate change and the future of snowmobiling in non-mountainous regions of Canada ». *Managing Leisure*, 12(4), 237–250. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13606710701546868>>
- McCaffrey, S., Rhodes, A. et Stidham, M. (2015). « Wildfire evacuation and its alternatives: perspectives from four United States' communities ». *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 170–178. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF13050>>
- McGee, T., McFarlane, B. et Tymstra, C. (2015). « Wildfire: A Canadian perspective », dans *Wildfire Hazards, Risks and Disasters*, D. Paton. Elsevier (éd.), 35–68.
- McKay, J. (2018). « Small Businesses Are a Vital Part of Community Resiliency but Often Overlook Vulnerabilities ». Government Technology. Consulté en juillet 2018 sur le site <<https://www.govtech.com/em/preparedness/Small-Businesses-Are-a-Vital-Part-of-Community-Resiliency-but-Often-Overlook-Vulnerabilities.html>>
- McKenney, D.W., Yemshanov, D., Pedlar, J., Allen, D., Lawrence, K., Hope, E., Lu, B. et Eddy, B. (2016). « Canada's Timber Supply: Current Status and Future Prospects Under a Changing Climate ». Centre de foresterie des Grands Lacs, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada.
- McLean, E.L., Katenka, N.V. et Seibel, B.A. (2018). « Decreased growth and increased shell disease in early benthic phase *Homarus americanus* in response to elevated CO<sub>2</sub> ». *Marine Ecology Progress Series*, 596, 113–126. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3354/meps12586>>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2012). Directive 019 sur l'industrie minière. 105 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu\\_ind/directive019/directive019.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_ind/directive019/directive019.pdf)>

- MNP (2017). « A Review of the 2016 Horse River Wildfire: Alberta Agriculture and Forestry Preparedness and Response ». Rapport préparé pour la Forestry Division, Alberta Agriculture and Forestry, Edmonton, Alberta. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.alberta.ca/assets/documents/Wildfire-MNP-Report.pdf>>
- Mori, A.S. et Johnson, E.A. (2013). « Assessing possible shifts in wildfire regimes under a changing climate in mountainous landscapes ». *Forest Ecology and Management*, 310, 875–886. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.036>>
- Morton, D.C., Roessing, M.E., Camp, A.E. et Tyrrell, M.L. (2003). « Assessing the environmental, social, and economic impacts of wildfire ». Global Institute of Sustainable Forestry Research Paper 001, Yale University, 59 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://gisf.yale.edu/sites/default/files/files/wildfire\\_report\(1\).pdf](https://gisf.yale.edu/sites/default/files/files/wildfire_report(1).pdf)>
- Mueter, F.J. et Litzow, M.A. (2008). « Sea ice retreat alters the biogeography of the Bering Sea continental shelf ». *Ecological Applications*, 18, 309–320. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1890/07-0564.1>>
- Nastev, M. et Aubertin, M. (2000). « Hydrogeological modelling for the reclamation work at the Lorraine mine site Québec ». 53<sup>e</sup> conférence géotechnique canadienne et 1<sup>ère</sup> conférence conjointe de l'IAHCNC et de la CGS sur les spécialités des eaux souterraines, Montréal, QC, Canada, 311–318.
- Nelson, H.W., Williamson, T.B., Macaulay, C. et Mahony, C. (2016). « Assessing the potential for forest management practitioner participation in climate change adaptation ». *Forest Ecology and Management*, 360, 388–399. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.038>>
- Nova Scotia Federation of Agriculture (2018). « Risk Proofing Nova Scotia's Agriculture: A Risk Assessment System Pilot (AgriRisk) ». Rapport finale, Bible Hill, Nova Scotia, 3–14. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://nsfa-fane.ca/wp-content/uploads/2018/08/Final-Report-for-AgriRisk-project-English.pdf>>
- Ochuodho, T.O. et Lantz, V.A. (2014). « Economic impacts of climate change in the forest sector: a comparison of single-region and multiregional CGE modeling frameworks ». *Canadian Journal of Forest Research*, 44(5), 449–464. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0317>>
- Office national de l'énergie (2016). Aperçu du marché : Feux à Fort McMurray : incidence sur la production de pétrole brut au pays. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/aperçu-marches/2016/aperçu-marche-feux-fort-mcmurray-incidence-production-petrole-brut-pays.html>>
- Office national de l'énergie (2017). Adoption des sources d'énergie renouvelable au Canada – Analyse des marchés de l'énergie. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/produits-base-energetiques/electricite/rapport/adoption-sources-energie-renouvelable-canada-2017/index.html>>
- Office national de l'énergie (2018). Avenir énergétique du Canada en 2018. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2018/index.html>>
- Ogden, N.H., Radojevic, M., Wu, X., Duvvuri, V.R., Leighton, P.A. et Wu, J. (2014). « Estimated Effects of Projected Climate Change on the Basic Reproductive Number of the Lyme Disease Vector *Ixodes scapularis* ». *Environmental Health Perspectives*, 122, 631–638. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/ehp.1307799>>
- Ohlson, D.W., Berry, T.M., Gray, R.W., Blackwell, B.A. et Hawkes, B.C. (2006). « Multi-attribute evaluation of landscape-level fuel management to reduce wildfire risk ». *Forest Policy and Economics*, 8(8), 824–837. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.01.001>>
- Olfert, O., Weiss, R.M. et Elliott, R.H. (2016). « Bioclimatic approach to assessing the potential impact of climate change on wheat midge (*Diptera: Cecidomyiidae*) in North America ». *The Canadian Entomologist*, 148, 52–67. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4039/tce.2015.40>>
- Olfert, O., Weiss, R.M., Elliott, R.H. et Soroka, J.J. (2017). « Bioclimatic approach to assessing the potential impact of climate change on two flea beetle (*Coleoptera: Chrysomelidae*) species in Canada ». *The Canadian Entomologist*, 149, 616–627. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4039/tce.2017.39>>
- Ontario Woodlot Association (2015). « Managing Your Forest in a Changing Climate ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ontariowoodlot.com/publications-and-links/owa-publications/landowner-guides/managing-your-forest-in-a-changing-climate-new>>
- Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE] (2015). « The Economic Consequences of Climate Change ». OECD Publishing, Paris. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264235410-en>>
- Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (2017). « The future of food and agriculture: Trends and challenge ». Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>>

- Ortiz, L., González, J.E. et Lin, W. (2018). « Climate change impacts on peak building cooling energy demand in a coastal megacity ». *Environmental Research Letters*, 13(9). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad8d0>>
- Orwig, K. (2016). « Strategies for funding wildfire mitigation ». *Risk Management*, 14+ p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA454786513&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00355593&p=AONE&sw=w>>
- Ouranos (2015). Sommaire de la Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec, édition 2015. 13 p.
- Ouranos (2016). Études de cas d'adaptation dans le secteur de l'énergie : Surmonter les obstacles à l'adaptation. Ouranos, Montréal, Québec. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-EtudeDeCas-FR.pdf>>
- Palko, K. (2017). Synthèse, dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 12–25. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-2f.pdf>>
- Palko, K. et Lemmen, D.S. (Eds.) (2017). Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016. Gouvernement du Canada, Ottawa, 309 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<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=2.37174240.1916456266.1604962435-747965453.1597699329>>
- Parker, L.M., Ross, P.M., O'Connor, W.A., Pörtner, H.-O., Scanes, E. et Wright, J.M. (2013). « Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification ». *Biology*, 2, 651–692. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/biology2020651>>
- Pearce, T., Ford, J.D., Prno, J. et Duerden, F. (2009). « Climate change and Canadian mining: opportunities for adaptation ». Fondation David Suzuki, 50 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://davidsuzuki.org/science-learning-centre-article/climate-change-canadian-mining-opportunities-adaptation/>>
- Pearce, T.D., Ford, J.D., Prno, J., Duerden, F., Pittman, J., Beaumier, M. et Smit, B. (2011). « Climate change and mining in Canada ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(3), 347–368. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-010-9269-3>>
- Pêches et Océans Canada (2018a). Pêches maritimes : valeur de la pêche commerciale de la côte atlantique, par région - 2016. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.dfo-mpo.gc.ca/stats/commercial/land-debarq/sea-maritimes/s2016av-fra.htm>>
- Pêches et Océans Canada (2018b). Évaluation des stocks de crabe des neiges de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2018/047, 30 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40736829.pdf>>
- Pêches et Océans Canada (2018c). Évaluation des stocks de crevette nordique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2017. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2018/015, 17 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40708196.pdf>>
- Pêches et Océans Canada (2018d). Évaluation du stock de flétan du Groenland du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2017. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique 2018/035, 20 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40714007.pdf>>
- Pêches et Océans Canada (2018e). « Proceedings on the National Peer Review on Incorporating environmental and climate change considerations into population assessments in DFO's Science advisory process, May 8–9, 2018 ». Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO.
- Perry, E., Manning, R., Xiao, X., Valliere, W. et Reigner, N. (2018). « Social climate change: The advancing extirpation of snowmobilers in Vermont ». *Journal of Park and Recreation Administration*, 36, 31–51. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.18666/JPra-2018-V36-I2-8307>>
- Peter, B., Wang, S., Mogus, T. et Wilson, B. (2006). Risques d'incendies et tendances démographiques dans les zones d'interface au Canada, dans *Stratégie canadienne en matière de feux de forêt, synthèses générales, analyses et perspectives*, K.G. Hirsch et P. Fuglem (éd.), 37–48. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfp8x8.cloudfront.net/pdfs/26747.pdf>>
- Phillips, A. et Towns, W. (2017). Prairies, dans *Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016*, K. Palko et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 105–137. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Chapter-5f.pdf>>

- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. et Travasso, M.I. (2014). « Food security and food production systems », dans *Changements climatiques 2014 – Conséquences, adaptation, et vulnérabilité, Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels, Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC*, 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 (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, USA, 485–533. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap7\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf)>
- Price, D.T., Alfaro, R.I., Brown, K.J., Flannigan, M.D., Fleming, R.A., Hogg, E.H., Girardin, M.P., Lakusta, T., Johnston, M., McKenney, D.W., Pedlar, J.H., Stratton, T., Sturrock, R.N., Thompson, I.D., Trofymow, J.A. et Venier, L.A. (2013). « Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems ». *Environmental Reviews*, 21(4), 322–365. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1139/er-2013-0042>>
- Programme de neutralisation des eaux de drainage dans l'environnement minier (2012). « Cold Regions Cover System Design Technical Guidance Document ». Rapport 1.61.5c, Centre canadien de la technologie des minéraux et de la technologie. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://mend-nedem.org/wp-content/uploads/2013/01/1.61.5c.pdf>>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement [PNUE] (2012). « Business and Climate Change Adaptation: Toward Resilient Companies and Communities ». United Nations Global Compact Office, Genève, 4–50. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.unglobalcompact.org/docs/issues-doc/Environment/climate/Business\\_and\\_Climate\\_Change\\_Adaptation.pdf](https://www.unglobalcompact.org/docs/issues-doc/Environment/climate/Business_and_Climate_Change_Adaptation.pdf)>
- Pryor, S.C. et Barthelmie, R.J. (2010). « Climate change impacts on wind energy: A review ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 430–437. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001713>>
- Qian, B., Jing, Q., Bélanger, G., Shang, J., Huffman, T., Liu, J. et Hoogenboom, G. (2018). « Simulated canola yield responses to climate change and adaptation in Canada ». *Agronomy Journal*, 110(1), 133–146. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2134/agronj2017.02.0076>>
- Qian, B., Zhang, X., Smith, W., Grant, B., Jing, Q., Cannon, A.J., Neilsen, D., McConkey, B., Li, G., Bonsal, B., Wan, H., Xue, L. et Zhao, J. (2019). « Climate change impacts on Canadian yields of spring wheat, canola and maize for global warming levels of 1.5 °C, 2.0 °C, 2.5 °C and 3.0 °C ». *Environmental Research Letters*, 14. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab17fb>>
- Quorum Corporation (2014). « Grain Supply Chain Study ». Grain Monitoring Program Supplemental Study, 107 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://grainmonitor.ca/Downloads/SupplementalReports/Grain%20Supply%20Chain%20Study%20-%20Report.pdf>>
- Quorum Corporation (2015). « Annual Report: 2013–2014 Crop Year ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://grainmonitor.ca/Downloads/AnnualReports/AnnualReport201314.pdf>>
- Raulier, F., Dhital, N., Racine, P., Tittler, R. et Fall, A. (2014). « Increasing resilience of timber supply: How a variable buffer stock of timber can efficiently reduce exposure to shortfalls caused by wildfires ». *Forest Policy and Economics*, 46, 47–55. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.06.007>>
- Raulier, F., Le Goff, H., Gauthier, S., Rapanoela, R. et Bergeron, Y. (2013). « Introducing two indicators for fire risk consideration in the management of boreal forests ». *Ecological Indicators*, 24, 451–461. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.023>>
- Reid, C. E., Brauer, M., Johnston, F.H., Jerrett, M., Balmes, J.R. et Elliott, C.T. (2016). « Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure ». *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1334–1343. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>>
- Reinecke, S. et Brodie, J. (2012). « Climate Change Impacts on Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Canadian Mines – Risks for Operation and Closure », dans *Proceedings of the 9th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, Ottawa, 1–12.
- Ressources naturelles Canada (2017). L'État des forêts au Canada. Rapport annuel 2017. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/38872.pdf>>
- Ressources naturelles Canada (2018). Cahier d'information sur l'énergie, 2018-2019. Consulté en juin 2020 sur le site <[http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2018/rncan-nrcan/M136-1-2018-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/rncan-nrcan/M136-1-2018-fra.pdf)>
- Ressources naturelles Canada (2019). Coûts de la protection contre les feux de forêt. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.rncan.gc.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-fore/couts-protection-contre-feux-foret/17784?\\_ga=2.201096942.1952697342.1605019450-1885431934.1596554449](https://www.rncan.gc.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-fore/couts-protection-contre-feux-foret/17784?_ga=2.201096942.1952697342.1605019450-1885431934.1596554449)>
- Resort Municipality of Whistler (2016). Community Energy and Climate Action Plan. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.whistler.ca/sites/default/files/related/cecacp\\_0\\_final.pdf](https://www.whistler.ca/sites/default/files/related/cecacp_0_final.pdf)>
- Revell, A., Stokes, D. et Chen, H. (2009). « Small businesses and the environment: turning over a new leaf? » *Business Strategy and the Environment*, 19(5), 273–288. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/bse.628>>

- Rijal, B., Raulier, F., Martell, D. L. et Gauthier, S. (2018). « The economic impact of fire management on timber production in the boreal forest region of Quebec, Canada ». *International Journal of Wildland Fire*, 27(12), 831–844. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF18041>>
- Roson, R. et Sartori, M. (2016). « Estimation of Climate Change Damage Functions for 140 Regions in the GTAP 9 Database ». *Journal of Global Economic Analysis*, 1(2), 78-115. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.010202AF>>
- Ross, T. (2016). « La Niña, the Blob and another warmest year », dans État des ressources physiques et biologiques et de certaines ressources halieutiques des écosystèmes des eaux canadiennes du Pacifique en 2015, P.C. Chandler, S.A. King et R.I. Perry (éd.). Rapports techniques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques, 3179, viii + 230 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/40617944.pdf>>
- Rousseau, A.N., Klein, I.M., Freudiger, D., Gagnon, P., Frigon, A. et Ratté-Fortin, C. (2014). « Development of a methodology to evaluate probable maximum precipitation (PMP) under changing climate conditions: Application to southern Quebec, Canada ». *Journal of Hydrology*, 519, 3094–3109. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.053>>
- Rutty, M., Scott, D., Steiger, R., Johnson, P. et Pons, M. (2015). « The geography of skier adaptation to adverse conditions in the Ontario ski market ». *The Canadian Geographer*, 59(4). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/cag.12220>>
- Rutty, M., Scott, D., Johnson, P., Steiger, R., Pons, M. et Vilella, M. (2017). « Using ski industry response to climatic variability to assess climate change risk: An analogue study in Eastern Canada ». *Tourism Management*, 58, 196–205. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.10.020>>
- Samy, G.M., Samy, C.P. et Ammasaiappan, M. (2015). « Integrated management systems for better environmental performance and sustainable development – a review ». *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(5), 985–1000. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.13140/rg.2.2.35566.51528>>
- Sankey, S. (2018). Plan directeur pour une science des feux de forêt au Canada (2019-2029). Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Ressources naturelles Canada, Edmonton, 1–27. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfp8x8.cloudfront.net/pdfs/39430.pdf>>
- Sauchyn, D. et Kulshreshtha, S. (2008). Prairies, dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 275–328. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch7\\_f.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2007/pdf/ch7_f.pdf)>
- Schaer, C. et Kuruppu, N. (Eds.) (2018). « Private-sector action in adaptation: Perspectives on the role of micro, small and medium size enterprises ». UNEP DTU Partnership, Copenhagen, 203 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/162053774/MSME\\_Adaptation\\_updated\\_WEB.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/162053774/MSME_Adaptation_updated_WEB.pdf)>
- Scharbach, J. et Waldram, J.B. (2016). « Asking for a disaster: being “at risk” in the emergency evacuation of a northern Canadian Aboriginal community ». *Human Organization*, 75(1), 59–70. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17730/0018-7259-75.1.59>>
- Schauberger, B., Archontoulis, S., Arneeth, A., Balkovic, J., Ciaï, P., Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Khabarov, N., Müller, C., Pugh, T.A.M., Rolinski, S., Schaphoff, S., Schmid, E., Wang, X., Schlenker, W. et Frieler, K. (2017). « Consistent negative response of US crops to high temperatures in observations and crop models ». *Nature Communications*, 8(13931). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/ncomms13931>>
- Schroeder, D. (2010). « Fire behaviour in thinned jack pine: two case studies of FireSmart treatments in Canada’s Northwest Territories ». FPInnovations, Eastern Region, Pointe-Claire, Quebec and Western Region, Vancouver, British Columbia. *Advantage Report*, 12(7), 12.
- Scott, D. et Steiger, R. (2013). « Vulnerability of the Ski Industry », dans *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*, R.A. Pielke (éd.). Elsevier Inc., Academic Press, 305–313.
- Scott, D., Hall, C.M. et Gössling, S. (2016). « A report on the Paris Climate Change Agreement and its implications for tourism: why we will always have Paris ». *Journal of Sustainable Tourism*, 2(7), 933–948. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1187623>>
- Scott, D., Jones, B. et Konopek, J. (2007). « Implications of climate and environmental change for nature-based tourism in the Canadian Rocky Mountains: A case study of Waterton Lakes National Park ». *Tourism Management*, 28(2), 570–579. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.04.020>>
- Scott, D., Gössling, S. et Hall, C.M. (2012). « International Tourism and Climate Change ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(3), 213–232. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.165>>

- Scott, D., Steiger, R., Ruty, M., Pons, M., Johnson, P. et Vilella, M. (2017). « The differential futures of ski tourism in Ontario (Canada) under climate change: the limits of snowmaking adaptation ». *Current Issues in Tourism*, 22(11), 1327-1342. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/13683500.2017.1401984>>
- Scott, D., Hall, C.M. et Gössling, S. (2019). « Global Tourism Vulnerability to Climate Change ». *Annals of Tourism Research*, 77, 49-61. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.05.007>>
- Scott, D., Steiger, R., Knowles, N. et Fang, Y. (2020). « Regional ski tourism risk to climate change: An inter-comparison of Eastern Canada and US Northeast markets ». *Journal of Sustainable Tourism* 28(4), 568-586. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1684932>>
- Shackell, N.L., Ricard, D. et Stortini, C. (2014). « Thermal Habitat Index of Many Northwest Atlantic Temperate Species Stays Neutral under Warming Projected for 2030 but Changes Radically by 2060 ». *PLoS ONE*, 9(3), e90662. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090662>>
- Shughrue, C. et Seto, K.C. (2018). « Systematic vulnerabilities of the global urban-industrial network to hazards ». *Climatic Change*, 151, 173-187. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2293-0>>
- Slawinski, N., Pinkse, J., Busch, T. et Banerjee, S.B. (2017). « The role of short-termism and uncertainty avoidance in organizational inaction on climate change: A multi-level framework ». *Business and Society*, 56(2), 253-82. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1177/0007650315576136>>
- Spittlehouse, D.L. (2005). « Integrating climate change adaptation into forest management ». *The Forestry Chronicle*, 81(5), 691-695. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.5558/tfc81691-5>>
- Stantec Consulting Limited (2012). « Preliminary assessment report, Canadian Beaufort Sea Region ». Rapport préparé pour Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Ottawa, Ontario, 1-171.
- Statistique Canada (2017). Infographie : Répercussions économiques du feu de forêt de 2016 à Fort McMurray. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/11-627-m/11-627-m2017007-fra.pdf?st=eOjpCYf3>>
- Stewart, E.J., Dawson, J. et Draper, D. (2011). « Cruise tourism and residents in Arctic Canada: Development of a resident attitude typology ». *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 18(1), 95-106. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1375/jhtm.18.1.95>>
- Stortini, C.H., Shackell, N.L., Tyedmers, P. et Beazley, K. (2015). « Assessing marine species vulnerability to projected warming on the Scotian Shelf, Canada ». *ICES Journal of Marine Science*, 72, 1731-1743. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst022>>
- Stortini, C.H., Chabot, D. et Shackell, N.L. (2017). « Marine species in ambient low-oxygen regions subject to double jeopardy impacts of climate change ». *Global Change Biology*, 23, 2284-2296. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/gcb.13534>>
- Stratégie du ministère de l'Environnement et des changements climatiques de la Colombie-Britannique (2019). « Preliminary Strategic Climate Risk Assessment for British Columbia ». Rapport préparé pour le gouvernement de la Colombie-Britannique, Victoria, Colombie-Britannique. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/adaptation/risk-assessment>>
- Stratos (2009). « Climate change impacts on mining operations and infrastructure ». Rapport préparé pour le Centre for Excellence in Mining Innovation. Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.miningexcellence.ca>>
- Stratos (2017). « Mining State of Play: Climate Change Adaptation in the Canadian Mining Sector ». Rapport soumis à la Plateforme canadienne d'adaptation aux changements climatiques, Groupe de travail sur l'exploitation minière, 57 p.
- Stratz, S.A. et Hossain, F. (2014). « Probable maximum precipitation in a changing climate: Implications for dam design ». *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(12). Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001021](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001021)>
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J. et Woods, A.J. (2011). « Climate change and forest diseases ». *Plant Pathology*, 60(1), 133-149. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>>
- Subedi, N., Taylor, S. et Peter, B. (2016). « Increasing threats of mega-fires on the WUI communities of Canada ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.wildlandfire2016.ca/wp-content/uploads/2017/05/Mega-fire-presentation-Nirmal-Subedi.pdf>>
- Sudhakar, A., Chan, C., Bonham-Carter, C. et Smith, M. (2017). « C40 Infrastructure Interdependencies and Climate Risks Report », 1-26.
- Sulla-Menashe, D., Woodcock, C.E. et Friedl, M.A. (2018). « Canadian boreal forest greening and browning trends: An analysis of biogeographic patterns and the relative roles of disturbance versus climate drivers ». *Environmental Research Letters*, 13(1). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9b88>>

- Surminski, S. et Hankinson, J. (2018). « MSMEs, climate change risks and insurance: reflections on the use of insurance for climate adaptation », dans *Private-sector action in adaptation: Perspectives on the role of micro, small and medium size enterprises*, C. Schaer et N. Kuruppu (éd.). UNEP DTU Partnership, Copenhagen, 65–78. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://unepdtu.org/wp-content/uploads/2018/04/msme-adaptation-updated-web.pdf>>
- Sveinsson, O.G.B. (2015). « Case study: Influence of climate change on hydropower in Iceland », dans *Resilience of hydropower and dams to climate change and natural disasters*. International Hydropower Association, World Bank Group. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.hydropower.org/sites/default/files/OliSveinssonLandsvirkjun.pdf>>
- Swiss Re Institute (2018). « Natural catastrophes and man-made disasters in 2017: a year of record-breaking losses ». SIGMA No 1, Zurich. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/sigma1\\_2018\\_en.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/sigma1_2018_en.pdf)>
- Taylor, A.R., Boulanger, Y., Price, D.T., Cyr, D., McGarrigle, E., Rammer, W. et Kershaw, J.A. (2017). « Rapid 21st century climate change projected to shift composition and growth of Canada's Acadian Forest Region ». *Forest Ecology and Management*, 405, 284–294. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.033>>
- Tercek, M. et Rodman, A. (2016). « Forecasts of 21st century snowpack and implications for snowmobile and snowcoach use in Yellowstone National Park ». *PLoS ONE*, 11(7). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159218>>
- Tett, S.F.B., Falk, A., Rogers, M., Spuler, F., Turner, C., Wainwright, J., Dimdore-Miles, O., Knight, S., Freychet, N., Mineter, M.J. et Lehmann, C.E.R. (2017). « Anthropogenic forcings and associated changes in fire risk in western North America and Australia during 2015/16 », dans *Explaining Extreme Events of 2016 from a Climate Perspective. Bulletin of the American Meteorological Society*, 98, S60–S64. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0096.1>>
- The Globe and Mail (2018). « “It’s devastating to see”: How a rail line crisis is threatening Churchill, Manitoba ». Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.theglobeandmail.com/politics/article-churchill-man-residents-angry-and-frustrated-as-solutions-to-rail/>>
- Thistlethwaite, J. (2016). « The Emergence of Flood Insurance in Canada: Navigating Institutional Uncertainty ». *Risk Analysis*, 37(4), 744–755. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/risa.12659>>
- Thistlethwaite, J. et Wood, M. (2018). « Insurance and Climate Change Risk Management: Rescaling to Look Beyond the Horizon ». *British Journal of Management*, 29(2), 279–298. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/1467-8551.12302>>
- Thistlethwaite, J., Henstra, D., Peddle, S. et Scott, D. (2017). « Canadian Voices on Changing Flood Risk: Findings from a National Survey ». University of Waterloo, Waterloo, Ontario. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://uwaterloo.ca/climate-centre/sites/ca.climate-centre/files/uploads/files/canadian\\_voices\\_on\\_changing\\_flood\\_risk\\_fnl.pdf](https://uwaterloo.ca/climate-centre/sites/ca.climate-centre/files/uploads/files/canadian_voices_on_changing_flood_risk_fnl.pdf)>
- Toth, K. (2018). « Grounded cruise ship rescue in Nunavut cost Canada's Armed Forces \$513K ». CBC News. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.cbc.ca/news/canada/north/rcaf-akademik-ioffe-expensive-1.4810589>>
- Townhill, B.L., Pinnegar, J.K., Righton, D.A. et Metcalfe, J.D. (2016). « Fisheries, low oxygen and climate change: how much do we really know? » *Journal of Fish Biology*, 90, 723–750. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfb.13203>>
- Transport Canada (2017). *Les Transports au Canada 2017, Un survol*. Transport Canada, Ottawa, 58 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/les\\_transports\\_au\\_canada\\_2017nwf.pdf](https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/les_transports_au_canada_2017nwf.pdf)>
- Tremblay, M.J. (1997). « Snow crab (*Chionoecetes opilio*) distribution limits and abundance trends on the Scotian Shelf ». *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 21, 7–22. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2960/J.v21.a1>>
- TRNEE [Table ronde nationale sur l’environnement et l’économie] (2011). « Paying the price: the economic impacts of climate change for Canada (Vol. 4) ». National Round Table on the Environment and the Economy, Ottawa, Canada.
- van Lierop, P., Lindquist, E., Sathyapala, S. et Franceschini, G. (2015). « Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events ». *Forest Ecology and Management*, 352, 78–88. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.010>>
- Vick, S.G. (2001). « Stability aspects of long-term closure for sulphide tailings », dans *Seminar on Safe Tailings Dam Constructions*, Gallivare, 20–21.
- Ville de Surrey (2018). « CFAS Primer Part 1: Coastal Flooding in Surrey ». Consulté en juin 2020 sur le site <<http://www.surrey.ca/files/CFAS-Primerpart1.pdf>>
- Waldbusser, G.G., Hales, B., Langdon, C.J., Haley, B.A., Schrader, P., Brunner, E.L., Gray, M.W., Miller, C.A. et Gimenez, I. (2015). « Saturation-state sensitivity of marine bivalve larvae to ocean acidification ». *Nature Climate Change*, 5, 273–280. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2479>>

- Waller, J.D., Wahle, R.A., McVeigh, H. et Fields, D.M. (2017). « Linking rising pCO<sub>2</sub> and temperature to the larval development and physiology of the American lobster (*Homarus americanus*) ». *ICES Journal of Marine Science*, 74, 1210–1219. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw154>>
- Warren, F.J. et Lemmen, D.S. (Eds.) (2014). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*. Gouvernement du Canada, Ottawa, 286 p. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?\\_ga=2.7844978.1952697342.1605019450-1885431934.1596554449](https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/vivre-avec-les-changements-climatiques-au-canada-perspectives-des-secteurs-relatives-aux-impacts-et/16310?_ga=2.7844978.1952697342.1605019450-1885431934.1596554449)>
- Weber, M., Groulx, M., Lemieux, C., Scott, D. et Dawson, J. (2019). « Balancing the dual mandate of conservation and visitor use at a Canadian world heritage site in an era of rapid climate change ». *Journal of Sustainable Tourism*, 27(9), 1318–1337. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1620754>>
- Wedawatta, G. et Ingirige, B. (2016). A conceptual framework for understanding resilience of construction SMEs to extreme weather events. *Built Environment Project and Asset Management*, 6(4), 428–43. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1108/BEPAM-06-2015-0023>>
- Western Power Distribution (2011). *Western Power Distribution Adaptation to Climate Change Report*. 23 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://www.westernpower.co.uk/downloads/4117>>
- Whitman, E., Parisien, M., Thompson, D.K. et Flannigan, M.D. (2019). « Short-interval wildfire and drought overwhelm boreal forest resilience ». *Scientific Reports*, 9, 18796. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-55036-7>>
- Williams, S. et Schaefer, A. (2013). « Small and Medium-Sized Enterprises and Sustainability: Managers' Values and Engagement with Environmental and Climate Change Issues ». *Business Strategy and the Environment*, 22(3), 173–186. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/bse.1740>>
- Williamson, T.B., Colombo, S.J., Duinker, P.N., Gray, P.A., Hennessey, R.J., Houle, D., Johnston, M., Ogden, A. et Spittlehouse, D.L. (2009). *Les changements climatiques et les forêts du Canada : des impacts à l'adaptation*. Réseau de gestion durable des forêts et Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Ressources naturelles Canada, Edmonton, 58 p. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://d1ied5g1xfp8.cloudfront.net/pdfs/29617.pdf>>
- Wilson, R.E. et Swanson, R.L. (2005). « A perspective on bottom water temperature anomalies in Long Island Sound during the 1999 lobster mortality event ». *Journal of Shellfish Research*, 24, 825–830. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2005\)24\[825:APOBWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2005)24[825:APOBWT]2.0.CO;2)>
- Wilson, G.W., Plewes, H.D., Williams, D. et Robertson, J. (2003). « Concepts for co-mixing of tailings and waste rock », dans *Proceedings of 6th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, dans *Application and Sustainability of Technologies*, Cairns, Australia, T. Farrell et G. Taylor (éd.). Australian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton South, Australia, 437–443.
- Wotton, B.M., Flannigan, M.D. et Marshall, G.A. (2017). « Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada ». *Environmental Research Letters*, 12(9). Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7e6e>>
- Wotton, B.M., Nock, C.A. et Flannigan, M.D. (2010). « Forest fire occurrence and climate change in Canada ». *International Journal of Wildland Fire*, 19(3), 253–271. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1071/WF09002>>
- Xi, K., Kumar, K., Holtz, M.D., Turkington, T.K. et Chapman, B.P. (2015). « Understanding the development and management of stripe rust in central Alberta ». *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37, 21–39. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/07060661.2014.981215>>
- Youcef, W.A., Lambert, Y. et Audet, C. (2015). « Variations in length and growth of Greenland Halibut juveniles in relation to environmental conditions ». *Fisheries Research*, 167, 38–47. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.01.007>>
- Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V.V. (2019). Les changements de température et de précipitations au Canada, Chapitre 4 dans *Rapport sur le climat changeant du Canada*, E. Bush et D.S. Lemmen (éd.). Gouvernement du Canada, Ottawa, 112–193. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/4-0/>>
- Zhang, Y., Chen, W.J. et Riseborough, D.W. (2008a). « Disequilibrium response of permafrost thaw to climate warming in Canada over 1850–2100 ». *Geophysical Research Letters*, 35, L02502. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2007GL032117>>
- Zhang, Y., Chen, W.J. et Riseborough, D.W. (2008b). « Transient projections of permafrost distribution in Canada during the 21st century under scenarios of climate change ». *Global and Planetary Change*, 60(3), 443–456. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.05.003>>



Zheng, J. et Kruse, G.H. (2000). « Recruitment patterns of Alaskan crabs in relation to decadal shifts in climate and physical oceanography ». *ICES Journal of Marine Science*, 57(2), 438–451. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0521>>

Zisserson, B. et Cook, A. (2017). « Impact of bottom water temperature change on the southernmost snow crab fishery in the Atlantic Ocean ». *Fisheries Research*, 195, 12–18. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.06.009>>

Zorn, C., Thacker, S., Pant, R. et Shamseldin, A. (2016). « The Dependence of National Transportation Infrastructure on Electricity ». University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. Consulté en juin 2020 sur le site <[https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/12780/POSTER%20-%20Zorn\\_DependenceTrnsptInfrastructureElect\\_QCAM\\_2016.pdf?sequence=1](https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/12780/POSTER%20-%20Zorn_DependenceTrnsptInfrastructureElect_QCAM_2016.pdf?sequence=1)>

Zuliani, A., Massolo, A., Lysyk, T., Johnson, G., Marshall, S., Berger, K. et Cork, S.C. (2015). « Modelling the Northward Expansion of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) under Future Climate Scenarios ». *PLoS ONE*, 10(8), e0130294. Consulté en juin 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130294>>