



CHAPITRE 6

Coûts liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation

RAPPORT SUR LES
ENJEUX NATIONAUX



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada



Auteurs coordonnateurs principaux

Richard Boyd, Ph. D., All One Sky Foundation

Anil Markandya, Ph. D., Basque Centre for Climate Change

Citation recommandée

Boyd, R. et A. Markandya (2021). Coûts et avantages liés aux impacts des changements climatiques et aux mesures d'adaptation, chapitre 6 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	387
6.1 Introduction	389
6.1.1 Introduction	389
6.1.2 Contexte	390
6.2 L'analyse économique contribue à éclairer la planification de l'adaptation	392
6.2.1 Introduction	392
6.2.2 Points d'entrée de l'analyse économique des cadres de gestion des risques	392
6.2.3 Évolution vers une planification de l'adaptation centrée sur les politiques	395
6.2.4 Accent sur l'adaptation précoce et sur l'échéancier et l'échelonnement des mesures	397
6.2.5 Implications de l'évolution des pratiques pour l'analyse économique	398
6.3 L'étendue des coûts économiques et sociaux induits par les changements climatiques	400
6.3.1 Coûts directs et indirects	400
6.3.2 Coûts macroéconomiques	401
6.3.3 Pertes de bien-être	402
6.3.4 Avantages et autres impacts connexes	402
6.3.5 Coûts privés et sociaux	403
Étude de cas 6.1 : Les mesures climatiques prises par les villes du monde entier entraînent des avantages connexes	404
6.4 Les coûts liés aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en hausse	405
6.4.1 Introduction	405
6.4.2 Tendances mondiales en matière de dommages	406
6.4.3 Tendances en matière de dommages au Canada	409
6.4.4 Qu'est-ce qui influence la hausse des pertes?	412
6.5 Les coûts futurs des changements climatiques seront élevés pour le Canada	414
6.5.1 Introduction	415
6.5.2 Évaluations nationales multisectorielles des coûts	416
Étude de cas 6.2 : L'impact des changements climatiques sur le travail et la production	421
6.5.3 Évaluation des coûts sectoriels et régionaux	423
6.5.4 Évaluation des coûts municipaux	427



Étude de cas 6.3 : Évaluation par la Ville d'Edmonton des coûts nets engendrés par les changements climatiques	428
6.6 Outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie pour l'évaluation des options d'adaptation	433
6.6.1 Introduction	433
6.6.2 Critères de décision	434
6.6.3 Outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie	438
6.6.4 Principaux défis méthodologiques	443
Étude de cas 6.4 : Gestion de l'incertitude dans l'évaluation des options d'adaptation pour faire face à l'élévation du niveau de la mer à Londres, au Royaume-Uni	450
6.7 Les avantages des mesures d'adaptation au Canada compensent les coûts	458
6.7.1 Analyse économique des options en matière d'adaptation au Canada	459
Étude de cas 6.5 : Évaluation des coûts et des avantages des options en matière d'adaptation pour les zones côtières du Québec et du Canada atlantique	461
Étude de cas 6.6 : Prise en compte des avantages connexes dans l'évaluation économique des mesures d'adaptation pour la rétention d'eau à Pelly's Lake, au Manitoba	466
6.7.2 Les arguments économiques en faveur de l'adaptation	469
6.7.3 Dommages résiduels	472
6.8 Il existe des obstacles et des limites économiques à l'adaptation	472
6.8.1 Introduction	473
6.8.2 Les obstacles et les limites de l'adaptation d'un point de vue économique	473
6.8.3 Rôle des gouvernements	477
6.9 Aller de l'avant	478
6.9.1 Les coûts de l'inaction	478
6.9.2 Les coûts et les avantages de l'adaptation	480
6.9.3 Nouveaux enjeux	481
6.10 Conclusion	482
6.11 Références	486
6.12 Annexes	501
Annexe 6.1 : Résumé de certaines études nationales et régionales sur les conséquences économiques des changements climatiques pour certains secteurs sensibles au climat au Canada	501
Annexe 6.2 : Résumé de quelques études choisies sur les conséquences économiques des changements climatiques pour les municipalités canadiennes	522
Annexe 6.3 : Qu'est-ce que l'actualisation?	527



Annexe 6.4 : Résumé de quelques évaluations économiques choisies de mesures d'adaptation au Canada qui utilisent un outil d'analyse coûts-avantages	528
Annexe 6.5 : Utilisation des pondérations d'équité pour tenir compte de la répartition des coûts et des avantages	546

Messages clés

L'analyse économique contribue à éclairer la planification de l'adaptation (voir la section 6.2)

Face à des ressources limitées et à des priorités concurrentes, les décideurs peuvent utiliser l'analyse économique pour clarifier les compromis et plaider en faveur de l'allocation des ressources à des mesures d'adaptation particulières en obtenant des informations sur les coûts et les avantages des différentes options.

L'étendue des coûts économiques et sociaux induits par les changements climatiques (voir la section 6.3)

Les changements climatiques induisent un vaste ensemble de coûts directs et indirects, avec de nombreuses implications économiques et sociales. Les mesures d'adaptation aux changements climatiques peuvent apporter des avantages connexes considérables dans d'autres domaines, mais peuvent également entraîner des coûts imprévus.

Les coûts liés aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en hausse (voir la section 6.4)

Les coûts associés aux dommages causés par les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada sont importants et en hausse, principalement en raison d'une exposition aux risques croissante et de l'augmentation de la valeur des actifs. L'ampleur des coûts suggère que les ménages, les collectivités, les entreprises et les infrastructures ne sont pas suffisamment adaptés aux conditions climatiques actuelles et à la variabilité du climat.

Les coûts futurs des changements climatiques seront élevés pour le Canada (voir la section 6.5)

Bien que les changements climatiques présentent certains avantages pour le Canada, les impacts économiques connexes sont extrêmement négatifs. La plupart des données probantes disponibles ne couvrent qu'un sous-ensemble de l'étendue des impacts économiques potentiels des changements climatiques pour le Canada. Les coûts anticipés sont vraisemblablement très conservateurs.

Outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie pour l'évaluation des options d'adaptation (voir la section 6.6)

Les sciences économiques offrent une gamme d'outils pour aider les décideurs à évaluer les mesures d'adaptation, à comprendre les compromis et à générer des informations sur les coûts et les avantages des différentes options. L'outil économique à privilégier dépend des critères de décision en matière d'adaptation, de la nature des impacts des changements climatiques et du niveau d'incertitude.

Les avantages des mesures d'adaptation au Canada compensent les coûts (voir la section 6.7)

Les avantages des mesures de planification de l'adaptation aux changements climatiques au Canada dépassent généralement les coûts, parfois de manière importante, ce qui justifie fortement l'analyse de rentabilisation des investissements proactifs dans l'adaptation. Même lorsque des adaptations avantageuses sont adoptées, des coûts de dommages résiduels sont souvent encore engagés, ce qui suggère qu'il existe des limites économiques à l'adaptation.

Il existe des obstacles et des limites économiques à l'adaptation (voir la section 6.8)

Il existe toute une série d'obstacles écologiques, technologiques, économiques et institutionnels à l'adaptation, ce qui limite les possibilités de réduire les effets néfastes des changements climatiques et de tirer avantage des nouvelles possibilités. Les gouvernements peuvent jouer un rôle important dans la prise en compte de ces obstacles, même si un niveau d'adaptation économiquement efficace impliquera vraisemblablement certains coûts résiduels.

6.1 Introduction

6.1.1 Introduction

Les changements climatiques ont déjà des impacts économiques et ils en auront de plus en plus à l'avenir. Ces impacts touchent différents aspects de l'économie, de la santé publique et de l'environnement naturel. L'évaluation des impacts économiques des changements climatiques est une entreprise complexe, avec des incertitudes considérables concernant l'ampleur des impacts biophysiques futurs et la valeur monétaire de ces impacts. Nonobstant ces difficultés, les économistes examinent la relation entre les changements climatiques et les impacts économiques depuis plus de 20 ans. En 2011, par exemple, la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) a estimé le coût moyen futur d'un scénario de croissance rapide et de changements climatiques importants pour le Canada à 35 à 62 milliards de dollars (en dollars de 2019) par an d'ici 2050, avec une probabilité de 5 % que les coûts puissent dépasser 72 à 131 milliards de dollars par an (TRNEE, 2011).

Les informations sur les conséquences économiques des changements climatiques, ainsi que sur les coûts et les avantages des solutions de rechange, sont de plus en plus demandées par un large éventail d'acteurs des secteurs privé et public. Ces informations sont nécessaires pour éclairer les décisions d'allocation des ressources en fonction des risques réels et des risques anticipés liés aux changements climatiques (National Research Council, 2010, 2009). Deux options de mesures génériques sont disponibles : les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et les mesures d'adaptation (voir l'encadré 1.2 du Rapport sur le climat changeant du Canada). Un mélange des deux options sera nécessaire pour parvenir à une réponse stratégique efficace. En effet, d'un point de vue économique, les coûts totaux associés aux changements climatiques ne peuvent être réduits au minimum que par une combinaison de mesures de réduction des émissions de GES et de mesures d'adaptation (p. ex. Agrawala et coll., 2011; de Bruin et coll., 2009a).

Historiquement, la profession d'économiste est davantage axée sur la réduction des émissions de GES (Fankhauser, 2017), bien que le nombre d'études sur les coûts et les avantages des mesures d'adaptation augmente. Le cinquième Rapport d'évaluation (RE5) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a consacré un chapitre entier à l'économie de l'adaptation (Chambwera et coll., 2014) et plusieurs autres examens récents ont également porté sur ce sujet (p. ex. Kahn, 2016; Rouillard et coll., 2016a; Markandya et coll., 2014).

Ce chapitre évalue l'état des connaissances et des pratiques sur les impacts des changements climatiques et les aspects économiques de l'adaptation au Canada. Il répond aux questions suivantes : Que savons-nous au sujet des coûts économiques des changements climatiques pour le Canada? Quelle est la répartition de ces coûts entre les différentes régions, secteurs et centres de population? Quels sont les coûts et les avantages des mesures prises pour modérer les dommages potentiels ou pour saisir les occasions avantageuses? Quels sont les outils et les méthodes économiques que les praticiens peuvent utiliser pour répondre à ces questions? Les décideurs ont besoin de réponses à ces questions afin d'allouer les maigres ressources publiques et privées à l'adaptation aux changements climatiques, et d'assurer que ces ressources

sont dirigées vers les mesures les plus efficaces. Ce chapitre intéressera un large éventail de décideurs, d'économistes et de praticiens à tous les niveaux de gouvernement, ainsi que les entreprises opérant dans des secteurs tributaires du climat.

6.1.2 Contexte

Depuis plusieurs décennies, les phénomènes météorologiques extrêmes – tels que les incendies de forêt, les inondations, les vagues de chaleur et les tempêtes – ont causé des milliards de dollars de dommages économiques annuels dans le monde entier (Aon, 2020; Swiss Re Institute, 2020). Depuis 1980, les dommages cumulés à travers le monde ont dépassé 4,9 billions de dollars (en dollars de 2019)¹ (Munich RE, 2020). Les États-Unis, à eux seuls, ont subi environ 2,2 billions de dollars (en dollars de 2019) de dommages résultant de 265 catastrophes météorologiques et climatiques au cours des 40 dernières années (National Centers for Environmental Information, 2020). Sur une période similaire, les dommages au Canada se sont élevés à environ 31 milliards de dollars (en dollars de 2019) (Sécurité publique Canada, 2020). Les dommages corrigés en fonction de l'inflation ont également connu une tendance à la hausse, tant au niveau mondial qu'au niveau régional et au Canada (voir la section 6.4.2; Aon, 2020; National Centers for Environmental Information, 2020; Bureau d'assurance du Canada, 2019).

Les changements climatiques ont augmenté la probabilité de voir se produire certains types de phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes (Zhang et coll., 2019; National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2016) et devraient intensifier certains phénomènes à l'avenir (Bush et Lemmen, 2019). Selon les projections, les changements climatiques constants devraient entraîner des centaines de billions de dollars de dommages économiques à l'échelle mondiale en 2100 (Warren et coll., 2018), à la fois en raison de l'intensification de certains extrêmes climatiques et des conséquences des tendances climatiques à évolution lente (p. ex. des phénomènes comme l'élévation du niveau de la mer et la fonte du pergélisol). Une étude récente, par exemple, suggère qu'une augmentation persistante de la température mondiale moyenne de 0,04°C par an (ce qui correspond à un scénario sans changement de politique important et avec des émissions continues de GES) réduira la production économique mondiale par habitant d'environ 7,2 % par rapport à ce qu'elle serait en 2100. Les baisses prévues de la production par habitant aux États-Unis et au Canada sont encore plus élevées, soit à 10,5 % et à 13,1 % respectivement (Kahn et coll., 2019).

L'adaptation peut réduire considérablement les coûts prévus des changements climatiques de plusieurs milliards de dollars par an (U.S. Global Change Research Program, 2018), bien qu'il soit peu probable qu'elle puisse compenser entièrement les dommages économiques (voir la section 6.8.2). Des politiques ambitieuses de réduction des émissions mondiales de GES sont également nécessaires pour limiter les impacts négatifs des changements climatiques (OCDE, 2015; Agrawala et coll., 2011; de Bruin et Dellink, 2011; Wang et McCarl, 2011). Cependant, l'adaptation n'est pas sans coût. Au niveau mondial, on estime que les besoins d'investissement pour l'adaptation aux changements climatiques dans les pays industrialisés atteindront 29 à 138 milliards de dollars US (en dollars de 2019) par an d'ici 2030 (CCNUCC, 2007). L'adaptation des littoraux et des infrastructures d'eau, de transport et d'énergie aux États-Unis pourrait coûter des dizaines voire des centaines de milliards de dollars par an d'ici 2050 (Sussman et coll., 2014). Au Canada,

1 À moins d'indication contraire, toutes les valeurs présentées dans ce chapitre sont en dollars canadiens (CAD).

un investissement d'un peu plus de 5 milliards de dollars (dollars canadiens de 2019) sera nécessaire chaque année, en moyenne, au cours des 50 prochaines années pour adapter les infrastructures municipales (bâtiments, installations, routes, etc.) aux changements climatiques (Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités, 2020). La forme exponentielle des courbes du coût de l'adaptation suggère que les niveaux initiaux d'adaptation peuvent être atteints à un coût relativement faible, mais que les coûts pourraient être considérablement plus élevés à long terme, car des mesures de moins en moins rentables sont nécessaires pour atteindre des niveaux d'adaptation plus élevés (Agrawala et coll., 2011). Néanmoins, des décisions judicieuses en matière d'adaptation peuvent produire des avantages, sous la forme de dommages évités, qui dépassent de loin les coûts (Commission mondiale sur l'adaptation, 2019; Lempert et coll., 2018).

Compte tenu de l'ampleur potentielle des coûts d'investissement pour l'adaptation aux changements climatiques à court et à long terme, il est nécessaire de fournir aux décideurs des informations économiques fiables sur les coûts et les avantages connexes afin de faciliter les décisions d'investissement en matière d'adaptation. Qu'ils proviennent du secteur public ou privé, les décideurs sont confrontés à des ressources humaines et financières limitées. Ils ne seront pas en mesure de mener à bien tous les programmes ou politiques envisagés, et doivent donc justifier et établir des priorités pour l'allocation des ressources disponibles, y compris pour les stratégies et mesures d'adaptation aux changements climatiques. À cet égard, le domaine de l'économie peut être utile, car il comprend l'étude de la manière d'allouer efficacement les ressources pour atteindre les objectifs souhaités. Plus précisément, l'analyse économique peut aider les décideurs à évaluer les coûts de l'action par rapport aux coûts de l'inaction (c.-à-d. continuer à appliquer une approche de maintien du statu quo); à choisir le montant à investir par rapport à des priorités concurrentes qui ne sont pas liées aux changements climatiques; à décider quels types d'options, de secteurs et de lieux d'adaptation devraient recevoir des ressources; à équilibrer les objectifs à court terme et à long terme; et, par conséquent, à tenir compte des répercussions pour les générations futures (Chambwera et coll., 2014; National Research Council, 2010). De nombreux avantages liés à l'adaptation (c.-à-d. les dommages évités) auront également des répercussions dans d'autres domaines, notamment la santé et la sécurité, le patrimoine culturel, les écoservices et l'équité. Le fait de ne pas inclure ces types de considérations non commerciales dans le processus décisionnel entraîne un sous-investissement dans l'adaptation. L'analyse économique peut également être utile à cet égard en offrant des techniques spécialisées pour intégrer les impacts non commerciaux des changements climatiques dans la prise de décisions.

6.2 L'analyse économique contribue à éclairer la planification de l'adaptation

Face à des ressources limitées et à des priorités concurrentes, les décideurs peuvent utiliser l'analyse économique pour clarifier les compromis et plaider en faveur de l'allocation des ressources à des mesures d'adaptation particulières en obtenant des informations sur les coûts et les avantages des différentes options.

Les informations sur les coûts liés aux changements climatiques incitent à l'action. Le fait de fournir aux décideurs les informations relatives aux coûts et aux avantages de l'adaptation permet de déterminer l'ampleur globale de l'investissement dans l'adaptation et de sélectionner des mesures particulières. L'analyse économique a évolué, passant d'une analyse coûts-avantages (ACA), visant à déterminer l'option d'adaptation « optimale », à la mise à disposition d'outils permettant d'éclairer une action précoce, en mettant davantage l'accent sur la valeur de l'information et sur les coûts et les avantages du renforcement des capacités et de la suppression des obstacles à l'adaptation. L'accent est également mis de plus en plus sur l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques et sur la nécessité de mieux gérer les incertitudes.

6.2.1 Introduction

Comme les décideurs sont de plus en plus conscients des risques liés aux changements climatiques, il existe une demande croissante en faveur de moyens plus efficaces pour soutenir les décisions en matière d'adaptation (Moss et coll., 2014; National Research Council, 2010). Le cadre de la planification de l'adaptation a été modifié pour répondre à ces exigences. Avec la reconnaissance accrue de la nécessité de gérer l'incertitude et d'élaborer des mesures précoces concrètes, on observe une évolution vers une approche plus centrée sur les politiques. Une telle approche a pour objectif de départ l'adaptation aux changements climatiques, ainsi qu'un intérêt accru pour le calendrier et la séquence des options d'adaptation, et l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques pour la prise de décisions (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015). Ces changements ont des conséquences importantes sur l'utilisation de l'analyse économique pour éclairer les décisions en matière d'adaptation.

6.2.2 Points d'entrée de l'analyse économique des cadres de gestion des risques

Le support décisionnel dans le contexte des changements climatiques présente des défis sans précédent. Les incertitudes associées aux changements climatiques (concernant l'évolution des systèmes sociaux et économiques futurs, les délais entre les activités humaines et les réactions du système climatique, la dynamique des systèmes climatiques et biophysiques, la diversité des intervenants susceptibles d'être touchés et l'adaptation autonome des systèmes naturels et humains) rendent extrêmement difficile de prévoir quand et où les impacts des changements climatiques se feront sentir, ainsi que leur importance

relative (Chambwera et coll., 2014; Jones et coll., 2014; Heal et Millner, 2013). En ce qui concerne l'adaptation, ces incertitudes sont exacerbées aux niveaux régional et local, où de nombreuses options d'adaptation sont mises en œuvre. Les décisions en matière d'adaptation sont compliquées par des incertitudes supplémentaires liées aux différentes perspectives des intervenants, aux objectifs multiples et concurrents, aux longs délais de prise de décisions, au choix des valeurs monétaires et à la large gamme d'options d'adaptation parmi lesquelles choisir (p. ex. privé ou public, réactif ou planifié, autonome ou intégré [« généralisé »]) (Rouillard et coll., 2016a; Jones et coll., 2014; Li et coll., 2014; Randall et coll., 2012).

La prise en compte de l'incertitude est fondamentale pour les décisions en matière d'adaptation et les analyses économiques connexes. Étant donné la nature pluridimensionnelle et incertaine des décisions en matière d'adaptation, le consensus est que ces décisions sont optimalement prises en compte dans un cadre de gestion adaptative (c.-à-d. itérative) des risques (Lempert et coll., 2018; Jones et coll., 2014; Moss et coll., 2014; GIEC, 2012; National Research Council, 2010).

La gestion adaptative des risques fournit un cadre dans lequel les conséquences potentiellement importantes, mais incertaines, des changements climatiques actuels et futurs et des mesures d'adaptation sont continuellement cernées, évaluées, classées par ordre de priorité, gérées et révisées. Ce cadre comprend la surveillance, qui tient compte des nouvelles informations, de l'expérience et de la contribution des intervenants (Lempert et coll., 2018; National Research Council, 2010). Elle implique un cycle continu d'évaluation, d'action, de réévaluation et de réaction qui se poursuivra à perpétuité, plutôt que d'informer des décisions ponctuelles à un moment donné (Lempert et coll., 2018; Willows et Connell, 2003). Le National Research Council (2010) fait une analogie avec les décisions prises dans une partie d'échecs, où les pièces sont repositionnées et où le risque est réévalué en fonction des coups de l'adversaire.

Du point de vue de l'analyse économique, la gestion adaptative des risques fournit un cadre de travail utile pour la prise de décisions en matière d'adaptation. Elle permet d'utiliser un vaste ensemble de concepts, de processus et d'outils d'aide à la prise de décisions, y compris des outils traditionnels comme l'analyse coûts avantages (ACA), l'analyse coût-efficacité (ACE) et l'analyse décisionnelle multicritères (voir le tableau 6.4), ainsi que des outils plus aptes à prendre en compte les incertitudes profondes, comme l'analyse approfondie et les voies d'adaptation dynamiques (voir la figure 6.3; le tableau 6.4; Moss et coll., 2014). Il est important de noter que la gestion adaptative des risques permet aux décideurs de tenir compte d'une large gamme de critères (p. ex. les coûts, les avantages directs et connexes et les impacts connexes (voir la section 6.3.4), l'équité, le caractère abordable, la flexibilité, la robustesse) lors de la formulation de stratégies d'adaptation face à l'incertitude (voir la section 6.6.1).

Les étapes de sensibilisation, d'évaluation et de planification d'un cadre généralisé de gestion adaptative des risques fournissent des points d'entrée précis pour les données économiques, l'analyse et l'aide à la prise de décisions (voir la figure 6.1). Au cours de la phase de sensibilisation, les informations sur les coûts de l'inaction (c.-à-d. le coût net reflétant la différence entre les dommages économiques et toutes les possibilités avantageuses découlant des changements climatiques) peuvent être utilisées pour persuader les décideurs de la nécessité et de l'urgence d'allouer des ressources à la planification de l'adaptation. Ces informations peuvent comprendre des estimations de l'ampleur des coûts liés aux changements climatiques, de la répartition de ces coûts entre les différents lieux, secteurs, groupes de populations, etc., et de la période pendant laquelle ils devraient devenir importants, s'ils ne le sont pas déjà. Ces mêmes informations peuvent également être utilisées par les analystes et les intervenants pour établir un ordre de priorité des risques et

des vulnérabilités aux changements climatiques actuels et futurs au cours de la phase d'évaluation. L'analyse économique joue également un rôle important au cours de la phase de planification, où elle peut être utilisée pour déterminer l'ampleur globale de l'investissement dans l'adaptation, la sélection, l'échéancier et l'échelonnement des mesures d'adaptation particulières, ainsi que la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation.

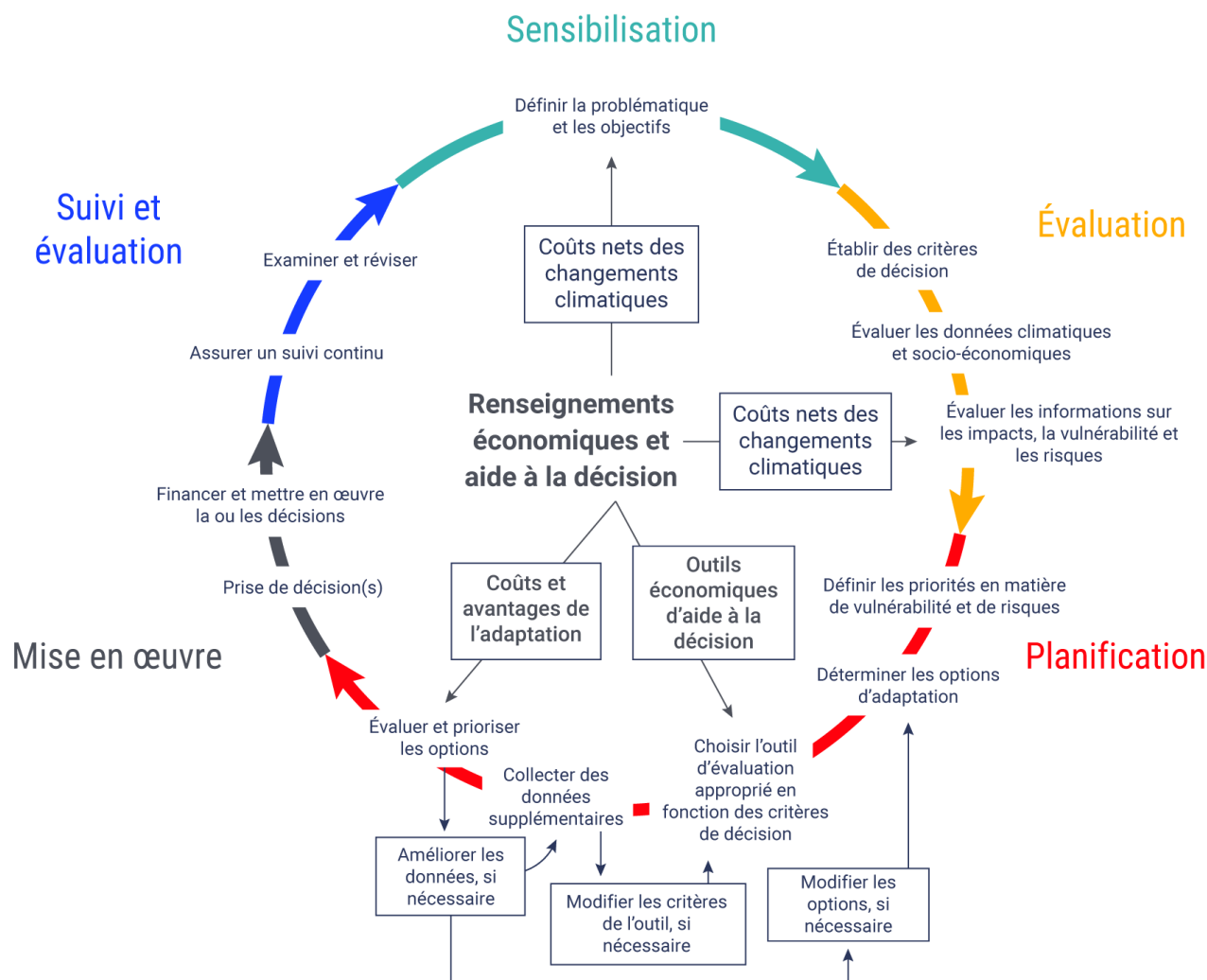


Figure 6.1 : Le cadre générique de gestion adaptative des risques pour l'adaptation aux changements climatiques comprend cinq étapes : 1) la sensibilisation, 2) l'évaluation, 3) la planification, 4) la mise en œuvre et 5) le suivi et l'évaluation. Pour faciliter la présentation, toutes les boucles de rétroaction ne sont pas représentées dans la figure (p. ex. entre la planification et la sensibilisation, et entre la planification et l'évaluation). Source : Adapté de Lempert et coll., 2018; Rouillard et coll., 2016a et Meyer et coll., 2015.

6.2.3 Évolution vers une planification de l'adaptation centrée sur les politiques

Les étapes d'évaluation et de planification d'un cadre de gestion adaptative des risques sont généralement réalisées en suivant l'un ou l'autre de ces deux processus analytiques génériques (Jones et coll., 2014). Historiquement, l'approche prédominante est basée sur un processus d'évaluation d'impact qui préconise des connaissances scientifiques (également appelé « approche descendante », « analyse à partir de scénarios » et « prévoir-puis-agir ») (Gregory et coll., 2012; Wilby, 2012; Ranger et coll., 2010). Il s'agit d'abord de définir le profil d'évolution des impacts (les projections des changements climatiques combinées aux informations socio-économiques pour évaluer les risques et les coûts futurs) en utilisant des modèles d'impact ou des fonctions de dommage (c.-à-d. une relation empirique définissant la variation prévue des dommages financiers attribuable à la modification d'une variable ou d'un indice climatique). L'étendue des risques estimés est ensuite utilisée pour encadrer la sélection des mesures d'adaptation. Les mesures retenues sont évaluées lors de la dernière étape du processus afin de déterminer le niveau d'adaptation souhaité, qui est établi en fonction des coûts d'adaptation, des avantages et des coûts résiduels (c.-à-d. les dommages financiers attribuables aux changements climatiques qui subsisteront après l'adaptation) (Watkiss, 2015). Avec cette approche, cependant, l'incertitude est aggravée à chaque étape du processus analytique (voir la figure 6.2) et est rarement caractérisée de manière adéquate (Wilby, 2012). En présence de ces incertitudes croissantes, la gamme des impacts et des réponses d'adaptation plausibles peut devenir irréalisable, rendant l'approche scientifique impraticable (Dessai et coll., 2009; Dessai et coll., 2005). Les autres enjeux liés au processus d'une approche qui préconise des connaissances scientifiques comprennent les suivants : il ne prend pas suffisamment en compte les moteurs non climatiques des impacts et des risques; son orientation à long terme ne correspond pas aux besoins stratégiques immédiats pour éclairer les décisions en matière d'adaptation à court terme; il ne prend pas en compte le processus d'adaptation lui-même et fait abstraction des obstacles potentiels, des coûts de transaction et des politiques de base; et il a tendance à mettre l'accent sur les mesures d'adaptation « dures » (c.-à-d. techniques) au détriment des mesures « douces », comme le renforcement de la capacité d'adaptation (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015; Patt et coll., 2010).

Compte tenu des lacunes de l'approche scientifique, on observe une évolution des pratiques d'adaptation vers des processus analytiques qui préconise des connaissances politiques (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015; Watkiss et coll., 2015a; Downing, 2012). Les approches qui préconisent des connaissances politiques, également connues sous le nom d'approches « ascendantes », « d'évaluation des risques des politiques » et « centrées sur la décision » (Pielke et coll., 2012; Brown et coll., 2011; Ranger et coll., 2010; Dessai et Hulme, 2007), mettent davantage l'accent sur l'adaptation comme objectif de départ, plutôt que de la considérer comme une étape finale, ce qui est généralement le cas dans une évaluation d'impact scientifique traditionnelle. Avec l'approche qui préconise des connaissances politiques, une quantité importante d'efforts est consacrée dès le départ à la définition du problème décisionnel (p. ex. un plan de gestion des risques d'inondation). Il s'agit d'abord de déterminer les objectifs pertinents, les pratiques actuelles, les contraintes et les moteurs de changement, ainsi que les préférences des intervenants et les critères de décision correspondants, tous des éléments qui encadreront également les analyses ultérieures. Ensuite, le processus consiste à évaluer la vulnérabilité du système défini aux conditions climatiques, socio-économiques et politiques actuelles, avant d'examiner les sensibilités aux facteurs de stress futurs, y compris les facteurs de stress liés ou non au climat (Ranger et coll., 2010). Une fois que les limites des pratiques actuelles sont

comprises, des mesures de rechange sont élaborées s'il le faut et évaluées en fonction de la réalisation des objectifs fixés dans une série de scénarios futurs plausibles. Par exemple, le projet Thames Estuary 2100 à Londres, au Royaume-Uni (voir l'étude de cas 6.4), a été l'un des premiers projets d'infrastructure à grande échelle à adopter une approche qui préconise des connaissances politiques pour la planification de l'adaptation (Ranger et coll., 2013).

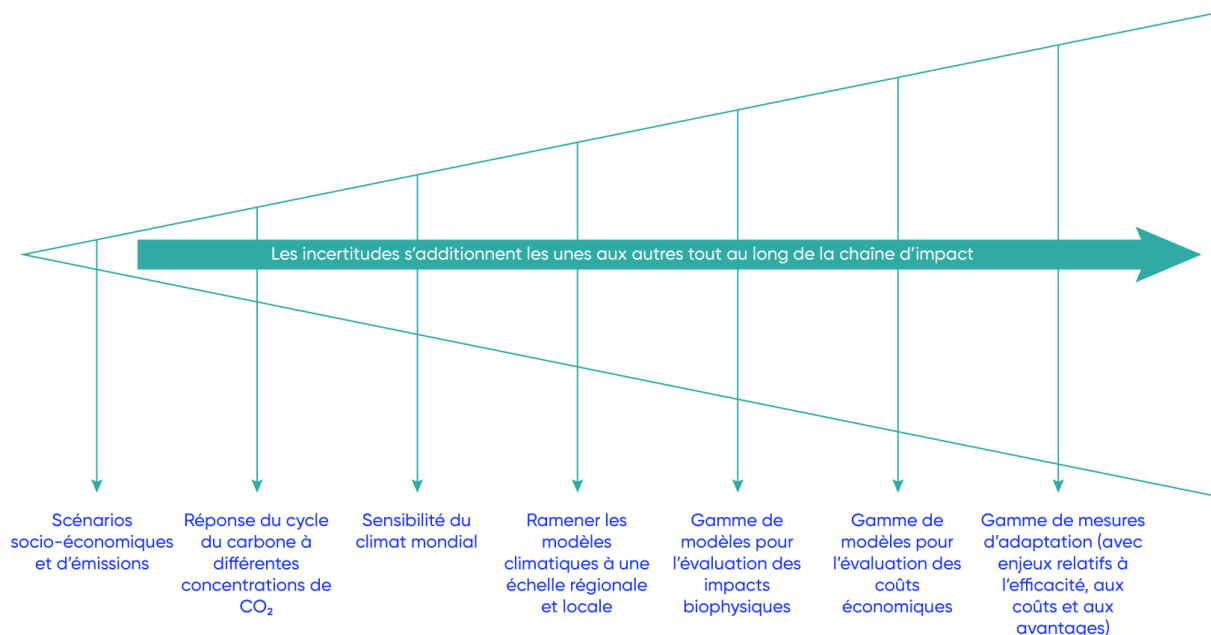


Figure 6.2 : Illustration des incertitudes croissantes le long d'une chaîne causale d'impacts qui préconise des connaissances scientifiques. Le niveau d'incertitude augmente au fur et à mesure que l'on se déplace le long de la chaîne d'impact (de gauche à droite), ce qui mène à un niveau élevé d'incertitude dans les estimations des coûts et des avantages à la fin de la chaîne. Source : Adapté de Fussler, 2003.

Par rapport à l'approche classique dite « scientifique », l'approche qui préconise des connaissances politiques présente un certain nombre d'avantages (Gregory et coll., 2012; Pielke et coll., 2012; Brown et coll., 2011; Ranger et coll., 2010; Wilby et Dessai, 2010; Dessai et coll., 2009). Par exemple, étant donné que l'approche centrée sur les politiques ne requiert que des informations climatiques pertinentes au problème décisionnel en question et concentre l'évaluation sur les options d'adaptation qui sont acceptables, compte tenu des objectifs et des contraintes d'une décision donnée, l'analyse est simplifiée et ciblée dès le départ, ce qui la rend moins gourmande en ressources et en données, ainsi que moins sensible aux incertitudes croissantes. En outre, comme l'analyse est axée sur le contexte et n'est pas indûment influencée par la modélisation scientifique, elle met l'accent sur la perspective globale et encourage les décideurs à tenir compte des interactions avec des priorités politiques plus larges et à rechercher des mesures d'adaptation qui présentent des avantages connexes avec d'autres domaines stratégiques.

6.2.4 Accent sur l'adaptation précoce et sur l'échéancier et l'échelonnement des mesures

Parallèlement à la transition vers une approche centrée sur les politiques et à l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques, une attention accrue est également accordée à l'échéancier et à l'échelonnement des mesures d'adaptation comme moyen supplémentaire de gérer les incertitudes (Wise et coll., 2014). L'adaptation n'est plus abordée comme comprenant une seule option (p. ex. un mur pour réduire les risques d'inondation dans le futur). Au contraire, il y a eu une transition vers une vision de l'adaptation comme un ensemble cohérent de mesures visant à remédier aux vulnérabilités actuelles et à se préparer aux risques liés aux changements climatiques à moyen et à long terme, en mettant l'accent sur une mise en œuvre pratique précoce (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015). Les ensembles de mesures comprendront généralement trois types d'activités ou d'éléments constitutifs pour une action précoce (Rouillard et coll., 2016a; Watkiss, 2015; Watkiss et coll., 2014) :

- 1. Mesures visant à combler le déficit d'adaptation actuel :** Des mesures d'adaptation immédiates qui permettent de faire face aux risques actuels liés aux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et, ce faisant, de renforcer la résilience aux changements climatiques futurs. Il s'agirait notamment de mesures d'adaptation « gagnant-gagnant », « sans regret » et « à faible regret » qui présentent des avantages directs ou connexes immédiats évidents.
- 2. Mesures visant à adapter les décisions à longue durée de vie :** Les mesures d'adaptation qui sont intégrées dans des décisions à court terme ayant une longue durée de vie (p. ex. les décisions relatives aux infrastructures vulnérables aux changements climatiques ou à l'aménagement du territoire) et qui seront donc influencées par les conditions climatiques futures et les risques futurs, en plus des conditions actuelles. Contrairement à la catégorie précédente, l'incertitude quant aux avantages futurs est une préoccupation beaucoup plus importante. Par conséquent, l'accent est mis sur l'utilisation de mesures robustes (c.-à-d. des mesures qui offrent des avantages futurs en fonction d'une série de scénarios futurs plausibles) et de stratégies adaptables qui offrent des possibilités d'apprentissage, avec des mesures qui peuvent être retardées ou avancées, et augmentées ou réduites à mesure que de nouvelles informations apparaissent au fil du temps.
- 3. Mesures visant à soutenir l'adaptation à long terme :** Il s'agit d'activités telles que le suivi, la surveillance, la recherche et la mobilisation, qui amorcent instantanément le renforcement des capacités nécessaires pour soutenir les mesures futures de gestion des impacts et des risques liés aux changements climatiques à long terme. Il s'agit par exemple de fournir des renseignements de meilleure qualité (qui sont nécessaires pour éclairer les décisions ultérieures concernant la gestion des risques importants et très incertains à long terme) et des mesures qui sont indispensables pour créer un environnement politique et socioculturel propice pour permettre et garantir que des mesures futures sont toujours possibles.

Lorsqu'ils sont considérés collectivement comme une stratégie d'adaptation intégrée, ces trois éléments constitutifs forment un profil d'évolution dynamique de l'adaptation (Haasnoot et coll., 2018; 2013), comme le montre la figure 6.3.

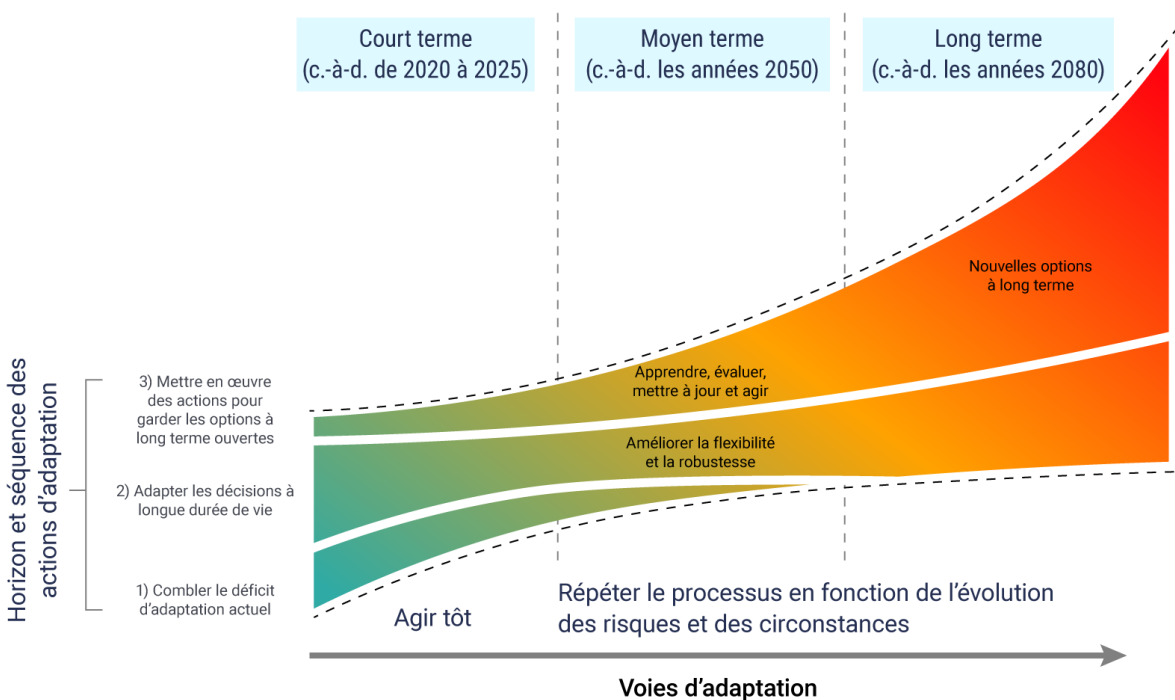


Figure 6.3 : Illustration de l'horizon et séquence des mesures d'adaptation à court, à moyen et à long terme tout au long d'une voie d'adaptation. Source : Adapté de Watkiss et coll., 2014.

6.2.5 Implications de l'évolution des pratiques pour l'analyse économique

L'évolution vers un processus d'évaluation centré sur les politiques, combinée à une attention accrue portée à l'échéancier et à l'échelonnement des mesures d'adaptation et à l'utilisation de cadres de gestion adaptative des risques, a eu des répercussions importantes sur l'analyse économique des stratégies d'adaptation. Ces changements de pratiques ont principalement nécessité la mise au point, l'application et le perfectionnement d'outils alternatifs d'aide à la prise de décisions. Les outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie (p. ex. l'ACA, l'ACE) sont adéquats pour évaluer les mesures précoces visant à combler le déficit d'adaptation existant lorsque l'incertitude quant aux impacts futurs est moins préoccupante. Toutefois, pour intégrer l'adaptation dans les décisions à longue durée de vie, où la prise en compte des incertitudes liées ou non au climat concernant les futurs moteurs de changement est beaucoup plus importante, et où les décideurs recherchent donc des options solides ou des stratégies flexibles, des outils alternatifs d'aide à la prise de décisions en matière d'économie tels que l'analyse des options réelles, la prise de décisions solides, l'analyse de portefeuille et les profils d'évolution dynamiques de l'adaptation sont plus appropriés pour évaluer les mesures (voir le tableau 6.5). L'utilisation de ces outils à l'échelle mondiale dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques demeure embryonnaire et ils n'ont pas encore été formellement appliqués au Canada (voir la section 6.7.1).

D'autres conséquences de ces nouvelles pratiques pour l'analyse économique de l'adaptation comprennent :

- Étant donné l'importance accrue accordée 1) à l'intégration et à la compréhension du processus d'adaptation (y compris les obstacles à l'action), et 2) au renforcement des capacités pour garantir que les mesures d'adaptation à long terme restent possibles (p. ex. la recherche, la surveillance et le renforcement institutionnel), il est de plus en plus nécessaire d'évaluer les coûts et les avantages des mesures non techniques, y compris les interventions comportementales pour surmonter les obstacles au changement, et la valeur des informations recueillies par les systèmes de surveillance. Les caractéristiques de ces options sont différentes de celles de mesures basées sur les résultats ou de mesures techniques, avec des coûts et des avantages qui sont plus difficiles à mesurer et à inclure dans l'analyse économique.
- De même, l'importance accrue accordée aux mesures d'adaptation sans regret et à faible regret met davantage l'accent sur la nécessité de saisir pleinement les avantages connexes dans l'analyse économique, ce qui exige la monétisation de toute une gamme d'impacts non climatiques, en plus des dommages évités liés aux changements climatiques.
- Considérer les stratégies d'adaptation comme un ensemble d'activités échelonnées dans le temps présente des défis pour l'analyse économique, car chaque élément constitutif est unique et peut nécessiter des informations et des méthodes différentes pour la quantification et l'évaluation des impacts physiques, et peut engendrer des implications en matière de ressources pour l'analyse.
- Toutes les analyses économiques doivent généralement tenir compte des compromis entre les coûts initiaux et les avantages futurs, ce qui rend les résultats sensibles au processus d'actualisation et au choix du taux d'actualisation (voir la section 6.6.3.2). L'analyse des mesures visant à combler le déficit d'adaptation actuel sera généralement moins sensible aux hypothèses d'actualisation. Cependant, pour les mesures précoces visant à adapter les décisions à longue durée de vie et à maintenir ouvertes les options à long terme sur plusieurs décennies, les résultats seront plus sensibles à l'actualisation des avantages futurs, ce qui rend essentiel d'envisager des pratiques d'actualisation alternatives et intergénérationnelles.

6.3 L'étendue des coûts économiques et sociaux induits par les changements climatiques

Les changements climatiques induisent un vaste ensemble de coûts directs et indirects, avec de nombreuses implications économiques et sociales. Les mesures d'adaptation aux changements climatiques peuvent apporter des avantages connexes considérables dans d'autres domaines, mais peuvent également entraîner des coûts imprévus.

Il existe une vaste gamme de termes utilisés pour décrire les conséquences économiques des impacts des changements climatiques, notamment les coûts directs (p. ex. les dommages causés par une inondation) et indirects (p. ex. la perturbation de la prestation de services), les impacts macroéconomiques (p. ex. la réduction de la croissance du produit intérieur brut [PIB]) et les pertes en matière de bien-être pour les populations touchées. Les mesures d'adaptation peuvent générer toute une série d'avantages connexes dans d'autres domaines, mais peuvent également entraîner des coûts imprévus. La diversité des termes utilisés dans la littérature, dont beaucoup se recoupent et sont parfois utilisés de manière interchangeable, peut entraîner une certaine confusion chez les praticiens et les décideurs, et peut également entraver les efforts visant à comparer les coûts et avantages estimés de différentes mesures d'adaptation.

Cette section décrit les termes clés relatifs aux coûts et aux avantages comme ils sont utilisés dans le reste de ce chapitre, sur la base des définitions communes issues de la littérature..

6.3.1 Coûts directs et indirects

Les typologies des conséquences économiques des impacts des changements climatiques, et plus particulièrement des impacts résultants de phénomènes extrêmes, font souvent la distinction entre impacts directs et indirects, à l'instar de la littérature sur les impacts des catastrophes naturelles. Les impacts directs et indirects peuvent être négatifs ou positifs, entraînant respectivement des coûts (c.-à-d. des pertes ou des dommages) ou des avantages (c.-à-d. des gains). Cette section se rapporte uniquement aux coûts, bien qu'elle s'applique également aux avantages.

Les coûts directs résultent des impacts physiques des dangers liés aux changements climatiques, tels que les dommages ou les perturbations causés aux biens et services tangibles qui peuvent être échangés sur un marché et ont donc un prix observé (p. ex. les coûts engagés pour réparer ou remplacer les maisons endommagées, les coûts des traitements médicaux dus au stress thermique, les pertes de revenus dues à la réduction des rendements de récolte). Les coûts directs résultent également des impacts physiques sur des éléments intangibles qui ne sont pas achetés ou vendus sur un marché traditionnel et qui n'ont donc pas de prix aisément observable (p. ex. les services écosystémiques, les niveaux de stress ou de douleur et la qualité de vie générale). Les économistes ont mis au point de multiples techniques pour attribuer un « prix fictif », soit le prix estimé d'un bien ou d'un service dont la valeur marchande ne reflète pas fidèlement sa valeur réelle ou pour lequel il n'existe pas de prix du marché, à ces éléments intangibles, que l'on appelle les impacts non liés au marché. Lorsque les impacts non liés au marché sont rendus équivalents aux impacts

liés au marché à l'aide de prix fictifs, ils peuvent être considérables, voire supérieurs aux coûts liés au marché (Nordhaus et Boyer, 2000). Le fait d'omettre les impacts non liés au marché pertinents de l'analyse économique des stratégies d'adaptation pourrait fausser considérablement les résultats.

Les coûts indirects découlent des impacts directs des changements climatiques. Lorsqu'une infrastructure, un bâtiment ou un parc est endommagé ou détruit, cela peut interrompre l'utilisation normale ou le flux de services (p. ex. un magasin inondé peut devoir fermer temporairement pour des réparations). Des infrastructures endommagées peuvent entraîner une perturbation de la prestation de services essentiels (p. ex. électricité, eau, assainissement), ce qui peut interrompre les activités d'entreprises qui ne sont pas directement touchées par les dangers liés aux changements climatiques. Les travailleurs peuvent également ne pas être en mesure de se rendre au travail si les réseaux routiers ou les infrastructures de transport en commun ont été touchés. Ces impacts sont appelés coûts d'interruption de l'exploitation (Kousky, 2012). Des interactions entre les entreprises peuvent à leur tour entraîner des impacts secondaires ou multiplicateurs dans l'économie (p. ex. un magasin inondé qui a fermé ses portes pour effectuer des réparations n'aura pas besoin d'acheter des fournitures avant sa réouverture). Comme les coûts directs, les pertes indirectes peuvent également être divisées en coûts liés au marché (p. ex. les coûts d'interruption de l'exploitation) et en coûts non liés au marché (p. ex. les maladies différées et les troubles de santé mentale, l'augmentation des inégalités). Contrairement aux coûts directs, les coûts indirects s'étendent souvent sur une période plus longue et ont lieu sur une échelle spatiale plus étendue que le site des impacts physiques directs des changements climatiques (Hallegatte, 2013).

La somme de tous les coûts pertinents, directs et indirects, liés au marché et non liés au marché, fournit une mesure de l'impact économique total des changements climatiques. L'intérêt se concentre souvent sur le résultat net global, c'est-à-dire la somme des impacts potentiellement positifs et négatifs, et sur la question de savoir si les changements climatiques engendrent des coûts nets ou des avantages nets.

6.3.2 Coûts macroéconomiques

Si la somme des coûts liés au marché, directs et indirects, est suffisamment importante, elle peut avoir un impact sur les indicateurs macroéconomiques, tels que l'inflation des prix à la consommation et à la production, le taux de chômage et le PIB. Le PIB mesure la valeur de la production dans une économie, dont une partie reflète l'investissement et une autre la consommation. Les impacts des changements climatiques sur le PIB peuvent être estimés directement à l'aide de modèles informatiques d'équilibre général (IEG), des modèles numériques à grande échelle qui simulent les principales interactions économiques (p. ex. celles entre les différents marchés des produits) au sein d'une économie, ou à l'aide de tableaux des ressources et des emplois disponibles auprès de Statistique Canada qui saisissent tous les coûts liés au marché pertinents, directs et indirects. Les changements prévus dans les indicateurs macroéconomiques, tels que le PIB, ne devraient être utilisés que comme une perspective supplémentaire qui permet de voir les conséquences économiques des changements climatiques. Les indicateurs macroéconomiques rendent compte des impacts directs et indirects agrégés des changements climatiques sur l'économie. Les impacts macroéconomiques, s'ils sont estimés directement, ne devraient pas être ajoutés aux autres estimations des coûts liés au marché directs et indirects, car cela entraînerait une comptabilisation en double (Ratti,

2017; Kousky, 2012). En même temps, se concentrer uniquement sur des indicateurs macroéconomiques agrégés comme le PIB peut être trompeur dans une perspective de répartition. L'échelle spatiale d'un phénomène météorologique extrême peut être différente de l'échelle sur laquelle le PIB est mesuré. Des pertes importantes pour les populations locales peuvent n'avoir aucun impact visible sur le PIB national, ou même sur le PIB provincial ou territorial. Cependant, cela ne signifie pas que les impacts sont négligeables pour les personnes touchées. Cela s'applique particulièrement aux populations ou aux endroits défavorisés, dont la production économique est généralement invisible dans les indicateurs macroéconomiques agrégés. Un autre enjeu de répartition concernant l'échelle spatiale des impacts des changements climatiques et l'utilisation d'indicateurs macroéconomiques agrégés est que les pertes subies à un endroit peuvent être compensées par des gains à un autre endroit.

6.3.3 Pertes de bien-être

La mesure théoriquement correcte des conséquences économiques des changements climatiques est la modification correspondante du bien-être des populations touchées (Kousky, 2012; Stern, 2006; Nordhaus et Boyer, 2000). L'estimation des changements dans une mesure théorique comme le bien-être est néanmoins difficile à réaliser dans la pratique. Par conséquent, le PIB est souvent utilisé comme indicateur pratique, bien que loin d'être parfait, du bien-être (Diaz et Moore, 2017a, b; Jones et Klenow, 2016). Outre les problèmes susmentionnés liés à l'utilisation du PIB pour mesurer les coûts des changements climatiques, le PIB ne saisit que la valeur des impacts sur les biens et services liés au marché. Comme indiqué ci-dessus, les impacts non liés au marché peuvent être considérables, voire plus importants que les coûts liés au marché. Ne pas tenir compte des impacts non liés au marché conduira à une sous-estimation considérable des pertes en matière de bien-être. La production de l'économie, mesurée par le PIB, n'a pas non plus d'incidence directe sur le bien-être des individus : ce qui compte le plus aux yeux des gens, c'est la consommation et la perte de surplus du consommateur (Hallegatte, 2013). À la suite de phénomènes extrêmes, le PIB peut augmenter en raison de l'accroissement des investissements destinés à réparer les biens endommagés. Bien que cela puisse suggérer une augmentation du bien-être sur la base de la définition ci-dessus, le bien-être diminuera en réalité puisque les ménages renoncent ainsi à une consommation dont ils auraient pu autrement profiter en faveur de ces investissements. Par conséquent, un indicateur plus approprié des coûts de bien-être résultant des changements climatiques correspond à une mesure de la perte de consommation, plutôt qu'à une perte de production mesurée par le PIB. En dépit de ces préoccupations, les coûts de bien-être liés aux changements climatiques sur le plan financier sont parfois exprimés en pourcentage du PIB prévu, ce qui est qualifié d'impact équivalent au PIB (Vivid Economic, 2013).

6.3.4 Avantages et autres impacts connexes

Lors de la prise de décisions en matière d'adaptation, il est essentiel de tenir compte d'une autre catégorie d'impacts qui sont importants d'un point de vue économique et qui sont appelés « impacts connexes » : ils sont plus communément appelés « avantages connexes » lorsque les impacts sont positifs. Outre les coûts applicables du cycle de vie et les dommages évités liés aux changements climatiques, les options

d'adaptation peuvent donner lieu à divers impacts accessoires potentiellement importants, appelés impacts connexes (Chambwera et coll., 2014). La reconnaissance des impacts connexes dans les décisions en matière d'adaptation est importante, puisqu'il semblerait que les personnes soient plus susceptibles d'agir face aux changements climatiques si les impacts connexes associés à des mesures particulières sont mis en évidence (Bain et coll., 2015).

De nombreux termes différents sont utilisés en référence aux impacts connexes, selon qu'ils sont positifs ou négatifs et intentionnels ou non intentionnels (Floater et coll., 2016; Urge-Vorsatz et coll., 2014). L'intentionnalité fait référence au degré auquel les avantages connexes sont explicitement recherchés par le décideur, puisque les options d'adaptation sans regret et à faible regret sont priorisées en vue de gérer l'incertitude (voir la section 6.2.3). En plus d'éviter les dommages liés aux changements climatiques, les options d'adaptation peuvent contribuer à la réduction des émissions de GES et à d'autres objectifs stratégiques non climatiques liés à des enjeux tels que le développement économique, la santé publique, la durabilité et l'équité. Éviter les dommages liés aux changements climatiques peut être l'objectif secondaire de la réduction des émissions de GES ou des politiques non climatiques, ou peut servir comme l'un des nombreux objectifs à poursuivre simultanément dans le cadre d'un ensemble cohérent et intégré de politiques (Floater et coll., 2016). Par exemple, l'utilisation de toits verts dans les villes comme stratégie de réduction de la température urbaine permet également de gérer les eaux pluviales, de séquestrer le carbone et d'améliorer la biodiversité urbaine. Dans ce cas, l'utilisation de l'infrastructure verte pour lutter contre les effets néfastes des vagues de chaleur sur la santé contribue également aux avantages connexes de la réduction des émissions de GES, de la gestion des inondations et de la prestation des services écologiques (voir l'étude de cas 6.1).

Une gamme de termes sont utilisés pour décrire les impacts connexes négatifs, tenus pour non intentionnels, dont les coûts connexes, les coûts accessoires, les effets secondaires néfastes et les externalités (Urge-Vorsatz et coll., 2014). Parmi les exemples d'impacts connexes négatifs générés par les options d'adaptation, on peut citer l'augmentation des émissions de GES, l'accroissement des risques pour d'autres groupes ou secteurs qui ne sont pas visés par l'option en question, ou la limitation des choix futurs en matière d'adaptation.

6.3.5 Coûts privés et sociaux

La dernière série de termes économiques couramment rencontrés dans la littérature concerne la perspective adoptée par le décideur pour évaluer les options d'adaptation. Les coûts et les avantages des options d'adaptation peuvent être évalués d'un point de vue social, mais aussi privé (Halsnæs et coll., 2007). D'un point de vue social, où un décideur en matière de politiques publiques cherche une allocation socialement optimale des ressources pour l'adaptation aux changements climatiques, l'évaluation des options d'adaptation devrait prendre en compte les avantages connexes ainsi que les conséquences négatives potentielles parallèlement aux coûts estimés du cycle de vie et aux dommages évités (Floater et coll., 2016; Chambwera et coll., 2014). En revanche, les ménages et les entreprises s'intéressent à un ensemble plus restreint de coûts et d'avantages privés lorsqu'ils prennent des décisions en matière d'adaptation. Plus précisément, ils s'intéressent aux coûts et aux avantages qui reviennent à la personne qui prend la décision.

Ces coûts et avantages privés (parfois appelés impacts financiers) sont généralement basés sur les prix réels du marché. Pour comprendre l'importance de la différence entre les deux perspectives, prenons l'exemple d'une maison endommagée par une inondation, dont certains coûts directs sont remboursés par le programme des Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC) du gouvernement du Canada. Le coût privé du sinistre pour le propriétaire est la différence entre les coûts de réparation encourus (non couverts par l'assurance privée) et le montant de l'aide reçue du gouvernement. Cependant, dans une perspective sociétale, l'aide représente un paiement de transfert d'un contribuable (une perte) à un autre (un gain équivalent); la perte et le gain s'annulent mutuellement, ce qui laisse le coût complet des réparations comme mesure du coût social de l'inondation.

Étude de cas 6.1 : Les mesures climatiques prises par les villes du monde entier entraînent des avantages connexes

En 2015, le programme Economics of Green Cities de la London School of Economics, au Royaume-Uni, a publié un document de travail intitulé « Co-benefits of urban climate action: A framework for cities » qui comprend une analyse documentaire de l'état des connaissances concernant les avantages connexes urbains des mesures de lutte contre les changements climatiques, basée sur un examen des mesures prises par les villes du monde entier (Floater et coll., 2016).

Au total, 116 avantages connexes découlant de 34 mesures stratégiques axées sur l'adaptation aux changements climatiques ont été identifiés dans 13 secteurs urbains clés. Le plus grand nombre d'avantages connexes économiques des politiques liées à l'adaptation a été enregistré dans les secteurs de la santé, de l'utilisation des terres et des bâtiments, et le plus grand nombre d'avantages connexes sociaux générés par les politiques liées à l'adaptation a été enregistré dans les secteurs de l'utilisation des terres, de la santé et de l'éducation. Le plus grand nombre d'avantages connexes environnementaux de ces politiques a été observé dans les secteurs de l'utilisation des terres, de l'eau et de la sécurité alimentaire. En général, les politiques d'adaptation aux changements climatiques dans les secteurs de l'utilisation des terres et de la santé sont celles qui génèrent le plus grand nombre d'avantages connexes.

Il a également été constaté que les politiques mises en œuvre dans d'autres secteurs urbains généraient des avantages connexes pour l'adaptation aux changements climatiques, la réduction des émissions de GES ou les deux. Un nombre relativement élevé d'avantages connexes de l'adaptation a été associé aux politiques dans les secteurs suivants : la gestion des catastrophes et des urgences, la sécurité alimentaire ainsi que le tourisme, la culture et le sport. Les avantages connexes de l'adaptation aux changements climatiques et de la réduction des émissions de GES ont été relativement marqués pour les politiques dans les secteurs de l'utilisation des terres, de la santé, de l'eau et de l'éducation.

6.4 Les coûts liés aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en hausse

Les coûts associés aux dommages causés par les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada sont importants et en hausse, principalement en raison d'une exposition aux risques croissante et de l'augmentation de la valeur des actifs. L'ampleur des coûts suggère que les ménages, les collectivités, les entreprises et les infrastructures ne sont pas suffisamment adaptés aux conditions climatiques actuelles et à la variabilité du climat.

Le nombre de phénomènes extrêmes a augmenté depuis 1983, bien que la répartition de ces phénomènes dans l'ensemble du Canada varie considérablement, l'Alberta étant la plus touchée. Des études sur l'attribution de tels phénomènes au Canada indiquent que les changements climatiques augmentent la probabilité de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes et peuvent jouer un rôle dans la tendance à l'augmentation des pertes dues à ces phénomènes. Cependant, la majorité des pertes croissantes liées aux phénomènes météorologiques extrêmes sont le résultat d'une exposition croissante et d'une augmentation de la valeur des actifs. L'ampleur des coûts suggère qu'il existe un déficit d'adaptation, c'est-à-dire que les ménages, les collectivités, les entreprises et les infrastructures ne sont pas suffisamment adaptés aux conditions climatiques actuelles et à la variabilité du climat.

6.4.1 Introduction

Avant d'examiner les données probantes relatives aux conséquences économiques prévues des changements climatiques pour le Canada, nous présentons, à titre de mise en contexte, des informations sur les coûts de phénomènes climatiques et météorologiques graves survenus dans le passé. Les phénomènes extrêmes, tels que les vagues de chaleur, la sécheresse, les inondations ou les tempêtes violentes, peuvent causer des dommages et des impacts considérables sur les personnes, les bâtiments, les infrastructures et l'environnement naturel. Les phénomènes météorologiques violents causent des dizaines de milliards de dollars de dommages chaque année dans le monde (Aon, 2020; Swiss Re Institute, 2020). On prévoit une intensification future de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes en raison des changements climatiques (Bush et Lemmen, 2019) qui contribueront à accroître la prévalence des dommages au cours des prochaines décennies. Par conséquent, une appréciation des vulnérabilités actuelles et des lacunes en matière de préparation au Canada constitue un bon point de départ pour établir un plaidoyer solide en faveur des mesures précoces d'adaptation aux changements climatiques (voir la section 6.2.3).

Cette section se concentre sur une seule source de données probantes : les dommages associés aux phénomènes météorologiques extrêmes au Canada qui sont documentés par l'industrie des assurances. Bien que les phénomènes extrêmes puissent être le visage des changements climatiques, les tendances graduelles du climat au Canada (p. ex. l'augmentation de la moyenne des températures annuelles et saisonnières, l'élévation du niveau de la mer, la fonte des glaciers et du pergélisol) peuvent également entraîner des impacts avec des conséquences économiques importantes, notamment les problèmes récents liés aux infestations de dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique (Withey et coll.,

2015) et la propagation des vecteurs de la maladie de Lyme (Ebi et coll., 2017). Par rapport aux impacts des phénomènes météorologiques extrêmes, les données probantes sur les conséquences économiques de ces impacts à évolution lente sont limitées. L'information présentée dans cette section ne donne qu'une image partielle des coûts économiques des dangers passés liés aux changements climatiques au Canada, tout en reconnaissant que les risques actuels liés aux extrêmes météorologiques sont importants et en hausse, et qu'ils justifient des mesures précoces.

6.4.2 Tendances mondiales en matière de dommages

L'industrie des assurances est une source essentielle d'informations sur les conséquences économiques des phénomènes météorologiques extrêmes. Les grands réassureurs, tels que Munich RE et Swiss Re, surveillent et enregistrent les informations sur les pertes dues aux catastrophes naturelles à travers le monde afin d'évaluer la capacité des marchés de réassurance nationaux et internationaux à absorber les pertes (voir l'encadré 6.1 pour une description de la terminologie clé de l'industrie des assurances).

Encadré 6.1 : Terminologie couramment utilisée dans l'industrie des assurances

Les pertes économiques représentent les coûts financiers directement attribuables à une catastrophe naturelle, tels que les dommages causés aux structures et au contenu des bâtiments, aux infrastructures et aux véhicules ainsi que les pertes d'exploitation résultant directement des dommages causés aux bâtiments. Les pertes économiques comprennent les pertes assurées (c.-à-d. les pertes économiques = pertes assurées + pertes non assurées). Elles n'incluent toutefois pas les pertes indirectes (p. ex. par effet d'entraînement, secondaire ou multiplicateur) qui résultent de la perturbation en amont ou en aval du flux de biens et de services à la suite de dommages causés aux bâtiments, aux infrastructures, aux véhicules, etc. Elles ne comprennent pas non plus les impacts non financiers, tels que la dégradation de la qualité de vie ou la perte de réputation.

Une catastrophe ou un désastre naturel est un événement causé par des forces naturelles. Les catastrophes naturelles dues à la météo comprennent les phénomènes hydrologiques (p. ex. les inondations), météorologiques (p. ex. les tempêtes, le vent, la grêle, la foudre, les tornades, les cyclones tropicaux) et climatologiques (p. ex. les incendies de forêt, les chaleurs extrêmes), mais excluent les phénomènes géophysiques (p. ex. les tremblements de terre, les éruptions volcaniques).

Source : Munich RE, 2018; Swiss Re Institute, 2018.

En 2018, les catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques ont causé à l'échelle mondiale des pertes économiques totales d'environ 215 milliards de dollars (en dollars US de 2018), dont les assureurs privés ont versé un montant record de 100 milliards de dollars pour des pertes (Munich RE, 2020). L'écart de protection mondial, soit la différence entre les pertes assurées et les pertes totales, s'élevait donc à 115 milliards de dollars (54 % des pertes économiques totales). Ces chiffres sont similaires à ceux produits par l'Institut Swiss Re pour 2018 : les pertes économiques totales estimées et les pertes assurées dans les catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques dans le monde étaient, respectivement, d'environ 201 et 98 milliards de dollars (en dollars US de 2018), l'écart de protection étant donc d'environ 103 milliards de dollars (soit 51 % des pertes économiques totales) (Swiss Re Institute, 2019a). Tant les pertes économiques que les pertes assurées en 2018 ont été supérieures à la moyenne annuelle ajustée en fonction de l'inflation correspondante pendant les dix dernières années (2008–2018), soit respectivement de 174 et 65 milliards de dollars (Munich RE, 2020).

Les pertes économiques dues aux catastrophes naturelles sont en augmentation dans le monde. Les pertes globales et les pertes assurées ont connu une tendance à la hausse au cours des dernières décennies, comme le montre la figure 6.4, qui présente les données relatives aux pertes mondiales pendant la période de 1980 à 2018, comme elles ont été enregistrées par Munich RE, la plus grande société de réassurance au monde. Les données sur les pertes enregistrées par l'Institut Swiss Re montrent également une hausse des dommages économiques causés par les catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques dans le monde entier (Swiss Re Institute, 2019a). En termes de moyennes mobiles sur cinq ans, les pertes mondiales enregistrées par Munich RE ont augmenté de 5,1 % par an entre 1980 et 2018, et les pertes assurées ont augmenté de 4,3 % par an. La croissance des pertes économiques globales étant supérieure à celle des pertes assurées, l'écart de protection s'est accru au fil du temps en dollars absolus, bien que l'écart en pourcentage soit en baisse. Malgré une pénétration croissante des produits d'assurance concernés avec une plus grande proportion de dommages couverts par l'assurance (Swiss Re Institute, 2019a), la société absorbe des pertes résiduelles croissantes en raison des catastrophes naturelles liées aux conditions météorologiques.

Les pertes économiques dues aux catastrophes naturelles qui touchent les États-Unis sont également en hausse (p. ex. National Centers for Environmental Information, 2020). Par exemple, la fréquence des catastrophes se chiffrant en milliards de dollars entre 1980 et 2011 a augmenté d'environ 5 % par an (Smith et Katz, 2013). Au cours de la période de 1980 à 2019, les États-Unis ont connu, en moyenne, 6,6 phénomènes par an. Pour la période de cinq ans la plus récente (2015–2019), le nombre moyen annuel de catastrophes se chiffrant en milliards de dollars était à peu près le double, soit 13,8 phénomènes (National Centers for Environmental Information, 2020).

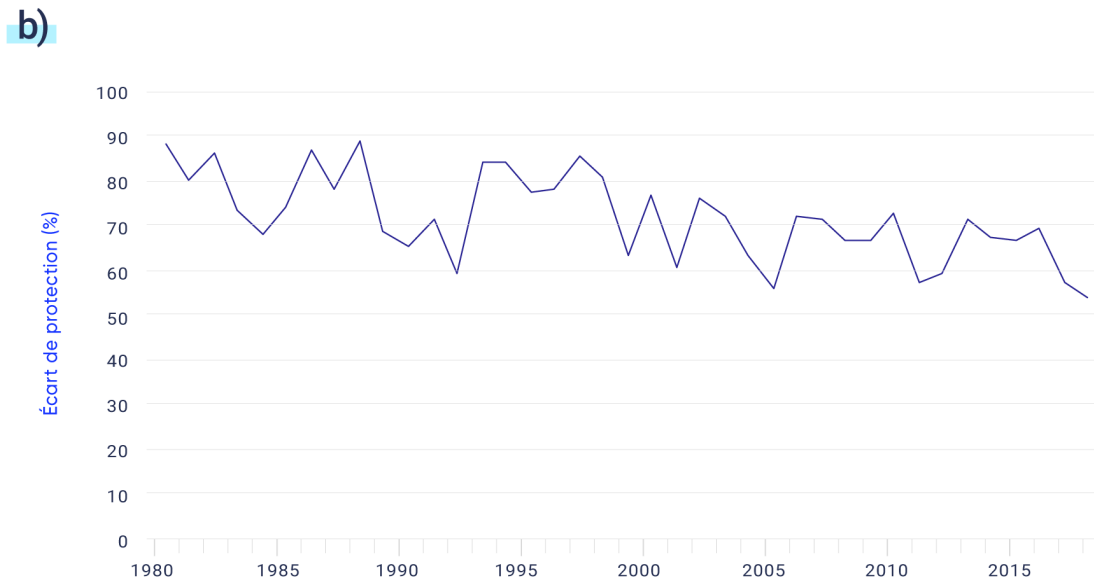
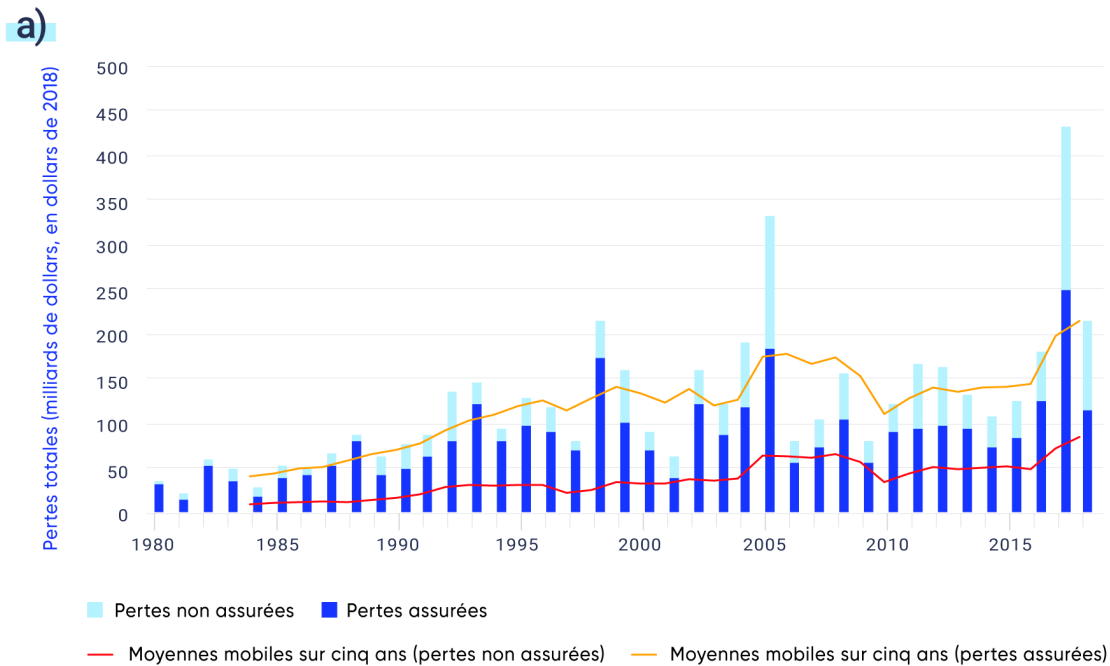


Figure 6.4 : La figure montre les pertes assurées et non assurées annuelles (en dollars canadiens de 2018) dues aux 15 788 phénomènes météorologiques (p. ex. inondations, tempêtes, feux de forêt, chaleur extrême) dans le monde entier qui répondent aux seuils d'inclusion NatCatSERVICE de Munich RE pour les pertes en dollars et les décès au cours de la période de 1980 à 2017. a) Les barres bleu foncé indiquent le total des pertes assurées et les barres bleu pâle indiquent le total des pertes non assurées dans toutes les pertes liées aux conditions météorologiques dans le monde pour chaque année. Les barres combinées bleu clair et bleu foncé indiquent le total des pertes économiques dans toutes les pertes liées aux conditions météorologiques dans le monde pour chaque année. b) Cette figure illustre l'« écart de protection », c'est-à-dire la proportion des pertes assurées par rapport aux pertes économiques totales, mettant en évidence les pertes économiques générées par les catastrophes qui ne sont pas couvertes par une assurance. Source des données : Munich RE, 2020.

6.4.3 Tendances en matière de dommages au Canada

La Base de données canadienne sur les catastrophes de Sécurité publique Canada fait le suivi des pertes économiques globales dans les catastrophes météorologiques et hydrologiques importantes, y compris les paiements effectués dans le cadre du programme des AAFCC (voir ci-dessous) et ceux effectués par les assureurs privés. Le Bureau d'assurance du Canada (BAC) suit également les indemnités versées par les assurances privées pour des phénomènes météorologiques extrêmes remontant à 1983. Cependant, les données sur les pertes globales dans la Base de données canadienne sur les catastrophes semblent incomplètes si l'on considère que, dans plus de la moitié des années depuis 1983, les pertes assurées enregistrées par le BAC ont dépassé les pertes économiques totales dans la Base de données canadienne sur les catastrophes. En raison de la nature incomplète des données sur les pertes économiques, l'exposé ci-dessous ne porte que sur les pertes assurées. Si l'on considère que les États-Unis constituent une analogie raisonnable pour le Canada, les pertes globales dues aux phénomènes météorologiques extrêmes représentent environ le double du montant des pertes assurées (Aon, 2020).

Les pertes assurées au Canada sont en hausse depuis 1983, comme le montre la ligne de tendance de la figure 6.5. Entre 1983 et 2007, les pertes annuelles étaient en moyenne d'environ 0,4 milliard de dollars (en dollars de 2018). En revanche, au cours de la plus récente décennie, les pertes ont atteint en moyenne environ 1,9 milliard de dollars par année (Bureau d'assurance du Canada, 2018). La plus grande perte assurée enregistrée au cours d'une seule année a été de 5,3 milliards de dollars (en dollars de 2018) en 2016, concernant l'incendie de forêt qui a touché Fort McMurray et ses environs et entraîné des paiements d'assurance totalisant 3,9 milliards de dollars (Bureau d'assurance du Canada, 2019).

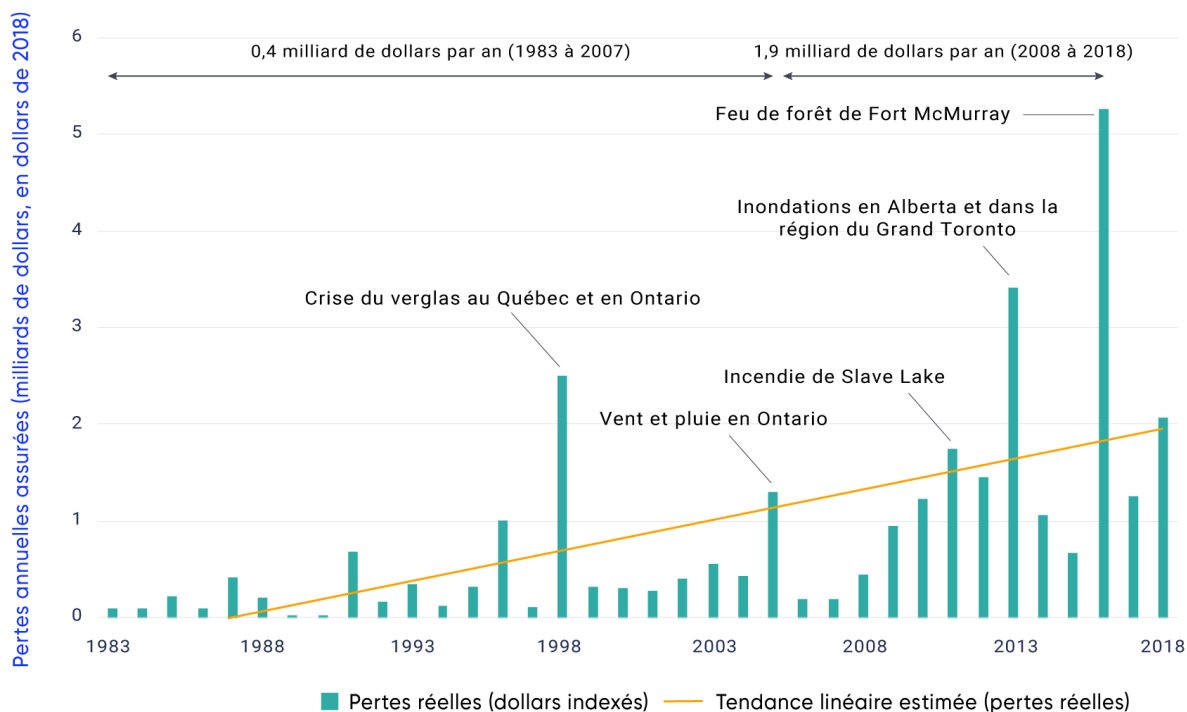


Figure 6.5 : La figure montre les pertes annuelles assurées plus les frais de règlement (en dollars de 2018) à la suite de phénomènes météorologiques extrêmes au Canada pour la période de 1983 à 2018. La hauteur des barres indique le total des pertes et des dépenses liées à tous les phénomènes météorologiques extrêmes pour chaque année. La ligne orange continue montre la tendance à la hausse estimée des pertes assurées plus les frais de règlement. Source des données : Bureau d'assurance du Canada, 2018.

Comme les pertes assurées, le nombre de phénomènes météorologiques extrêmes a augmenté au fil du temps, la moyenne mobile sur cinq ans ayant progressé d'environ 7 % par an entre 1983 et 2018. En ce qui concerne la répartition des phénomènes météorologiques extrêmes au Canada, c'est l'Alberta qui a été la plus touchée, avec 55 événements ayant touché la province au cours de la période de 1983 à 2018, suivie de près par l'Ontario, avec 52 événements. Les provinces maritimes ont été les moins touchées. L'Alberta est l'épicentre des phénomènes météorologiques extrêmes en ce qui a trait aux pertes : six des dix plus importants sinistres assurés au Canada depuis 1983 se sont produits dans cette province (voir le tableau 6.1).

Tableau 6.1 : Les 10 catastrophes liées aux conditions météorologiques les plus coûteuses au Canada, en termes de pertes assurés (1983–2018)

RANG	DATE DU PHÉNOMÈNE	RÉGION TOUCHÉE, PROVINCE	PHÉNOMÈNE(S) MÉTÉOROLOGIQUE(S)	PERTE ASSURÉE(EN MILLIONS DE \$)*
1	Du 3 au 19 mai 2016	Fort McMurray (Alberta)	Incendie	3 899,1
2	Janvier 1998	Sud du Québec	Tempête de verglas	2 022,3
3	Du 19 au 24 juin 2013	Sud de l'Alberta	Inondation, eaux	1 737,4
4	Le 8 juillet 2013	Région du Grand Toronto (Ontario)	Inondation, foudre, eaux	1 004,6
5	Le 19 août 2005	Sud de l'Ontario	Grêle, tornades, vents	779,7
6	Le 4 mai 2018	Hamilton (Ontario), région du Grand Toronto (Ontario) et Québec	Tempête de vent, eaux	680,0
7	Les 15 et 16 mai 2011	Slave Lake (Alberta)	Incendie, tempête de vent	587,6
8	Le 7 août 2014	Centre de l'Alberta	Tempête de vent, grêle, foudre, eaux	582,3
9	Le 12 août 2012	Calgary (Alberta)	Grêle, foudre, eaux	571,8
10	Le 12 juillet 2010	Calgary (Alberta)	Grêle, inondation, tempête de vent, foudre	557,7

* Les montants sont exprimés en dollars de 2018.

Source des données : Bureau d'assurance du Canada, 2019.

Comme pour les paiements des assureurs privés, le coût annuel du programme fédéral des AAFCC est en hausse depuis les années 1970 (Bureau du vérificateur général du Canada, 2016; Directeur parlementaire du budget, 2016). En cas de catastrophe, et si les coûts d'intervention et de recouvrement dépassent certains seuils pouvant être assumés par une province ou un territoire seul, le gouvernement du Canada fournit une aide financière à échelle mobile par l'intermédiaire du programme des AAFCC. Les paiements sont versés directement aux provinces, qui distribuent ensuite les fonds aux personnes, aux entreprises, aux organismes à but non lucratif et aux administrations locales. Entre 1970 et 1994, les paiements annuels moyens des AAFCC pour les ouragans, les orages convectifs, les inondations et les tempêtes hivernales se sont élevés en moyenne à 56 millions de dollars (en dollars de 2018) (Directeur parlementaire du budget, 2016). En revanche, les versements annuels moyens se sont élevés à 303 et 427 millions de dollars (en dollars de 2018) au cours des périodes de 1995 à 2004 et de 2005 à 2014, respectivement (Directeur parlementaire du budget, 2016).

Les tendances à long terme des pertes ont été interprétées comme étant le signe d'un déficit contemporain en matière d'adaptation (Burton, 2009) et d'une augmentation des risques futurs liés aux changements climatiques (Hallegatte, 2014; Schipper et Pelling, 2006). De nombreuses raisons expliquent le déficit observé en matière d'adaptation, notamment une gamme de défaillances du marché, des comportements et des politiques (voir la section 6.8.1). Ce déficit s'est accru et devrait continuer à croître avec les changements climatiques (Burton, 2009), ce qui renforce le plaidoyer en faveur d'efforts d'adaptation précoces.

6.4.4 Qu'est-ce qui influence la hausse des pertes?

La hausse observée des pertes dues aux catastrophes climatiques a conduit à des interrogations pour savoir si les changements climatiques contribuent à cette tendance (Bouwer, 2011). Le GIEC, par exemple, a suggéré que la tendance à la hausse des pertes historiques constituait une preuve indirecte d'un signal potentiel de changements climatiques. Toutefois, certains chercheurs ont fait valoir que pour établir des comparaisons fiables entre les pertes subies lors de catastrophes naturelles liées aux conditions climatiques passées et plus récentes, il est nécessaire de tenir compte de l'évolution des divers facteurs socio-économiques qui influent sur l'ampleur des pertes. Autrement, on compare des pommes avec des oranges (p. ex. Pielke, 2007). Le processus d'ajustement des facteurs socio-économiques et non climatiques pertinents est connu sous le nom de « normalisation des pertes » (Swiss Re Institute, 2020; Pielke et coll., 2003). La normalisation permet de répondre à la question suivante : « Quelle serait l'ampleur des pertes si les actifs et les valeurs actuels étaient exposés à un phénomène d'ampleur historique? ». Les analyses des pertes normalisées aident à clarifier la mesure dans laquelle les facteurs socio-économiques contribuent à l'augmentation des dommages observés au fil du temps et, par inférence, le rôle d'autres facteurs dans le profil des tendances en matière de pertes. Un facteur probable contribuant à la tendance à l'augmentation des pertes est l'amélioration et l'approfondissement de la collecte de données au fil du temps. De même, les pertes inférieures observées au début des années 1980 peuvent s'expliquer en partie par un manque de données disponibles.

Les études qui analysent les séries chronologiques des pertes économiques et assurées normalisées dans les catastrophes liées aux conditions météorologiques, qu'elles se produisent à l'échelle mondiale ou régionale, donnent des résultats mitigés. Certaines études ne trouvent aucune tendance importante à la hausse, malgré des augmentations substantielles des pertes nominales (p. ex. Bouwer, 2011; Neumayer et Barthel, 2011).

D'autres études trouvent des tendances à long terme statistiquement significatives en matière de pertes (p. ex. Gall et coll., 2011; Schmidt et coll., 2009). Une étude récente des pertes normalisées liées aux catastrophes naturelles à l'échelle mondiale a mis au jour des données probantes solides indiquant une inclinaison vers la droite de la distribution des pertes et une tendance à la hausse correspondante des dommages extrêmes, mais des données moins probantes concernant une tendance à la hausse des pertes moyennes (Coronesea et coll., 2019).

La figure 6.6 présente les pertes assurées normalisées pour les mêmes phénomènes météorologiques extrêmes au Canada, comme indiqué dans la figure 6.5. Les pertes sont normalisées à l'aide d'une approche conventionnelle (p. ex. Miller et coll., 2008; Pielke et coll., 2008; Pielke et coll., 2003) : les valeurs nominales originales, non ajustées en fonction de l'inflation, sont modifiées par trois multiplicateurs pour tenir compte des changements dans les prix à la production, la population et la richesse, qui sont mesurés en termes de PIB par habitant au cours du temps. Une tendance positive importante, bien que moins marquée, est encore observée dans les pertes normalisées dues à des catastrophes liées aux conditions météorologiques au Canada. Cette tendance à la hausse est également évidente si l'on considère la moyenne mobile sur cinq ans des pertes normalisées, qui a produit un taux de croissance annuel de 3,5 % entre 1983 et 2018. Ce taux était toujours en augmentation, mais à un rythme beaucoup plus lent que celui des pertes nominales (10,6 %) et des pertes réelles (8,2 %), ajustées en fonction de l'inflation, au cours de la même période. Depuis 1983, la tendance à la hausse des pertes assurées associées aux phénomènes météorologiques extrêmes au Canada est principalement due à une accumulation de valeur (p. ex. personnes, biens, richesse) d'année en année. Mais la hausse des pertes ne peut s'expliquer entièrement par une augmentation de l'exposition aux risques, de la valeur des actifs et de l'inflation générale des prix : les changements climatiques pourraient jouer un rôle. Bien qu'une hausse des pertes normalisées ne soit pas une « preuve » de la présence des changements climatiques, elle est certainement cohérente avec l'intensification prévue de certains phénomènes météorologiques extrêmes avec la hausse des températures (Swiss Re Institute, 2020; Coronesea et coll., 2019; GIEC, 2013).

Les recherches sur l'attribution des phénomènes au Canada, qui évaluent la façon dont la probabilité des phénomènes météorologiques extrêmes est modifiée par les émissions de GES dues à l'activité humaine, ont montré que les changements climatiques ont augmenté la probabilité de l'incendie de Fort McMurray survenu en 2016 et des pluies extrêmes qui ont contribué aux inondations de 2013 dans le Sud de l'Alberta (Zhang et coll., 2019), deux des catastrophes météorologiques les plus coûteuses jamais enregistrées au Canada (voir le chapitre « [Provinces des Prairies](#) »).

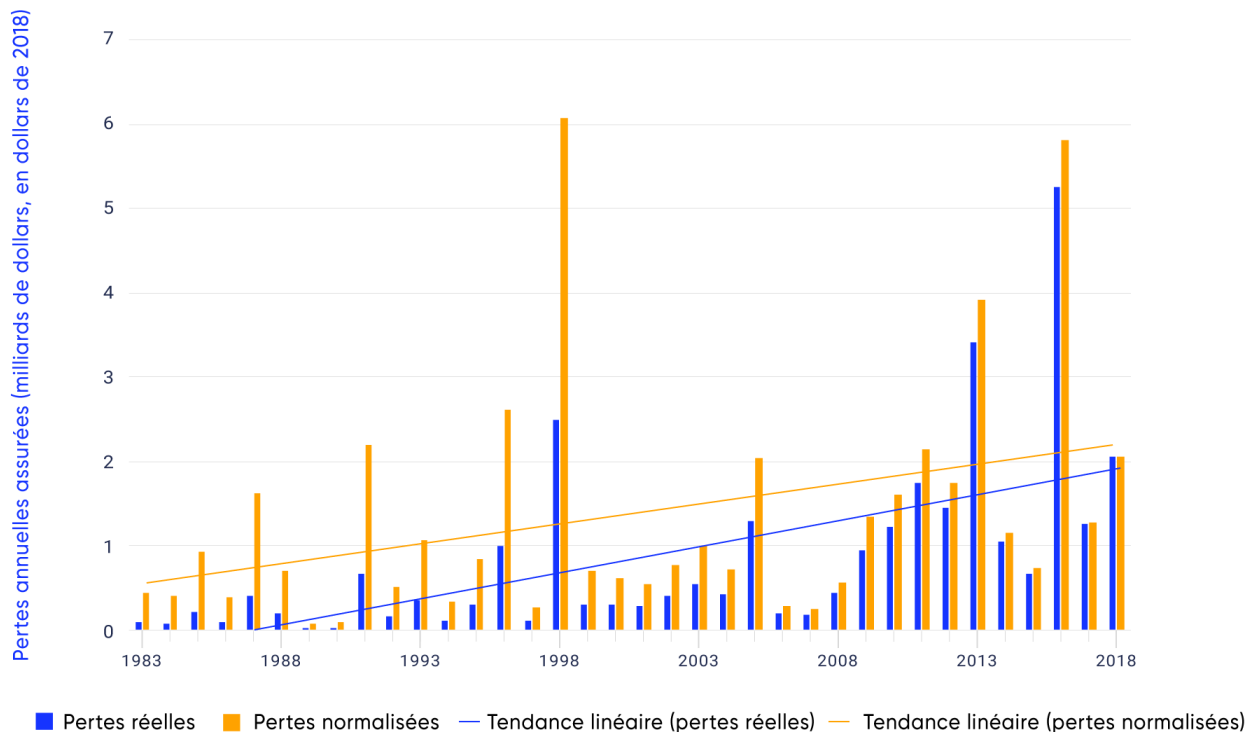


Figure 6.6 : Pertes annuelles assurées normalisées plus les frais de règlement (en dollars de 2018) résultant de phénomènes météorologiques extrêmes au Canada pour la période de 1983 à 2018. Les pertes sont normalisées selon l'approche utilisée dans Pielke et coll., 2008, Miller et coll., 2008, et Pielke et coll., 2003, qui corrige en fonction de l'inflation et des changements dans la population et la richesse au fil du temps. La hauteur des barres indique les pertes totales normalisées (orange) et les pertes réelles (bleu), plus les dépenses liées à tous les phénomènes météorologiques extrêmes pour chaque année. Les lignes continues montrent la tendance à la hausse estimée des pertes normalisées (orange) et des pertes réelles (bleu), plus les frais de règlement. Source des données : Bureau d'assurance du Canada, 2019.

6.5 Les coûts futurs des changements climatiques seront élevés pour le Canada

Bien que les changements climatiques présentent certains avantages pour le Canada, les impacts économiques connexes sont extrêmement négatifs. La plupart des données probantes disponibles ne couvrent qu'un sous-ensemble de l'étendue des impacts économiques potentiels des changements climatiques pour le Canada. Les coûts anticipés sont vraisemblablement très conservateurs.

En l'absence de nouvelles mesures d'adaptation, les données probantes disponibles suggèrent que les changements climatiques auront un impact négatif sur le taux de croissance économique au Canada et entraîneront des conséquences économiques négatives pour la foresterie, les régions côtières, la région des

Grands Lacs (associées à de faibles niveaux d'eau), la santé publique et les stations de ski au Québec et en Colombie-Britannique. Dans les scénarios d'émissions élevées, les coûts économiques pour ces secteurs pourraient varier de quelques centaines de millions à quelques dizaines de milliards de dollars par an d'ici le milieu du siècle, et pourraient être encore plus élevés à la fin du siècle. La plupart des études prévoient des avantages économiques pour le secteur agricole en raison des changements climatiques, les gains les plus importants étant prévus pour les provinces des Prairies, tandis que certaines études mondiales à grande échelle prévoient des pertes mineures pour le secteur agricole canadien. Le peu de données probantes disponibles pour les villes suggère que les changements climatiques auront des impacts économiques négatifs potentiellement importants. Les approches permettant d'étudier les conséquences économiques des changements climatiques ont considérablement progressé au cours de la dernière décennie. Cependant, il est nécessaire d'améliorer la cohérence entre les différentes études en ce qui concerne leur portée, leurs hypothèses et leurs données de base, et de raffiner davantage les méthodes afin de pouvoir formuler des conclusions plus solides sur l'importance des impacts économiques pour un secteur ou une région par rapport à d'autres. Il y a également d'importantes lacunes à combler en matière de connaissances. Les informations sur les impacts économiques des changements climatiques sont limitées à quelques secteurs, régions et municipalités et sont manquantes en ce qui concerne les peuples autochtones.

6.5.1 Introduction

Le coût futur de l'inaction, c'est-à-dire les conséquences économiques de l'absence de mesures d'adaptation planifiées et de la continuation inchangée des changements climatiques, est une information économique essentielle pour la prise de décisions en matière de changements climatiques (Ackerman et Stanton, 2011; Agence européenne pour l'environnement, 2007). Bien que l'ampleur des coûts prévus en cas d'inaction soit incertaine, des estimations soigneusement soumises à des réserves peuvent être utilisées en tandem avec des informations sur les coûts actuels des extrêmes climatiques et météorologiques (voir la section 6.4) afin de persuader les décideurs de la nécessité urgente d'allouer des ressources à l'adaptation et de privilégier une allocation de ces ressources pour faire face aux principaux risques aux changements climatiques. Les coûts prévus fournissent également une valeur de base pour évaluer le coût des projets, programmes et politiques d'adaptation. Pour compléter l'information sur les coûts observés des phénomènes météorologiques extrêmes historiques présentés à la section 6.4, cette section examine les données probantes disponibles sur les coûts futurs anticipés des changements climatiques au Canada : évaluation des coûts globaux, multisectoriels et nationaux, évaluation des coûts pour des secteurs sensibles aux changements climatiques aux niveaux national, régional et provincial, et évaluation des coûts pour certaines municipalités.

6.5.2 Évaluations nationales multisectorielles des coûts

Les estimations globales des conséquences économiques des changements climatiques, limitées au Canada et impliquant plusieurs secteurs, sont rares. L'étude fréquemment citée de la TRNEE (TRNEE, 2011) demeure l'évaluation nationale multisectorielle de référence des coûts économiques des changements climatiques pour le Canada. À l'aide du modèle d'évaluation intégrée, PAGE09 (Hope, 2011), le coût économique futur des changements climatiques pour le Canada a été estimé pour deux scénarios climatiques et deux scénarios socio-économiques, produisant quatre avenir plausibles : 1) « faibles changements climatiques – croissance lente », 2) « faibles changements climatiques – croissance rapide », 3) « changements climatiques élevés – croissance lente » et 4) « changements climatiques élevés – croissance rapide ».² Les coûts annuels prévus pour le Canada en 2050, en supposant l'absence de nouvelles adaptations, vont de 30 milliards de dollars (en dollars de 2019) dans le scénario « faibles changements climatiques – croissance lente » à 62 milliards de dollars dans le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide ». Dans le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide », un plus grand nombre de personnes, de biens et de richesses sont exposés à un changement de température plus prononcé que dans le scénario « changements climatiques faibles – croissance lente », ce qui entraîne des coûts prévus plus importants. Le modèle PAGE09 tient explicitement compte de l'incertitude dans ses paramètres, ce qui génère une distribution de la fréquence des coûts annuels estimés. Les répartitions des coûts possibles pour tous les scénarios suggèrent qu'il existe une petite probabilité que les coûts soient beaucoup plus élevés, puisqu'il y a 5 % de chance que le coût annuel des changements climatiques en 2050 dépasse 131 milliards de dollars dans le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide ». D'ici 2075, selon les quatre mêmes combinaisons de scénarios plausibles, les coûts annuels devraient se situer dans un intervalle entre 74 et 319 milliards de dollars, avec une probabilité de 5 % qu'ils dépassent 1 185 milliards de dollars par an selon le scénario « changements climatiques élevés – croissance rapide ». Ces projections reflètent les coûts prévus non actualisés du réchauffement pour les secteurs économiques traditionnels (p. ex. construction, secteur manufacturier, commerce de détail, services éducatifs) et les secteurs non économiques (p. ex. impacts sur la santé et les écosystèmes), les coûts prévus de l'élévation du niveau de la mer et les coûts prévus des phénomènes catastrophiques « à gravité extrême »³ (p. ex. fonte rapide des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique occidental) (TRNEE, 2011).

Les seules autres estimations nationales multisectorielles de l'impact global des changements climatiques sur le Canada proviennent d'études macroéconomiques mondiales à grande échelle. Les résultats de trois de ces études pour le Canada sont présentés dans le tableau 6.2. Ces trois études utilisent des approches similaires, qui impliquent l'intégration d'informations sur les impacts biophysiques et sur l'évaluation économique dérivée d'évaluations indépendantes des dommages pour des secteurs particuliers (comme

-
- 2 Le scénario de faibles changements climatiques (SRES B1 du GIEC) suppose un changement de la moyenne annuelle des températures pour le Canada de +3,4 °C d'ici 2050, avec une augmentation de +28 cm du niveau de la mer. Les changements supposés de la température et du niveau de la mer dans le cadre du scénario de changements climatiques élevés (SRES A2 du GIEC) d'ici 2050 sont de +3,6 °C et +29 cm, respectivement (TRNEE, 2011). La croissance annuelle moyenne du PIB dans le cadre du scénario de croissance lente et du scénario de croissance rapide est supposée être de 1,3 % et 3,0 %, respectivement (TRNEE, 2011).
 - 3 Un phénomène catastrophique « à gravité extrême » correspond à un phénomène où les coûts des catastrophes climatiques sont plus probables, caractérisé par une répartition de la probabilité qui n'a pas la forme caractéristique d'une cloche, mais plutôt une longue queue épaisse qui s'étend vers la droite.

l'agriculture) dans un modèle multirégional et multisectoriel de l'économie mondiale pour estimer l'impact des changements climatiques sur la production économique (PIB). Les études comprennent des catégories similaires d'impacts sectoriels (voir le tableau 6.2) et tirent des informations sur les dommages pour étayer l'ampleur des impacts prévus, provenant en grande partie du même ensemble d'études primaires (p. ex. Lafakis et coll., 2019; Kompass et coll., 2018; Roson et Sartori, 2016; Kjellstrom et coll., 2009; Bosello et coll., 2006; Hamilton et coll., 2005). Malgré ces similitudes, les résultats ne sont pas strictement comparables en raison, entre autres, des horizons temporels et des changements de température modélisés qui diffèrent, ainsi que des différences dans la manière dont les impacts liés aux changements climatiques estimés indépendamment sont intégrés à chaque modèle macroéconomique.

Tableau 6.2 : Résumé des conséquences économiques nationales pour le Canada à partir d'une sélection d'études macroéconomiques mondiales à grande échelle

ÉTUDE	IMPACT PRÉVU SUR LE PIB	SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	CATÉGORIES D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES INCLUSES DANS LES ÉVALUATIONS ¹
Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2015)	+0,89 % de variation du PIB réel par an en 2060 , par rapport au PIB prévu sans impacts des changements climatiques	Changement régional prévu de la température annuelle moyenne en 2060 dans le cadre du RCP8.5 par rapport aux niveaux préindustriels de 1850 à 1900	<ul style="list-style-type: none"> • Agriculture et pêches : changements dans les rendements de récolte et changements dans les prises de pêche • Zones côtières : perte de terres et de capitaux due à l'élévation du niveau de la mer • Phénomènes extrêmes : dommages causés par les ouragans • Santé publique : changements dans la productivité de la main-d'oeuvre et les dépenses en soins de santé dues aux maladies à transmission vectorielle, aux maladies liées à la chaleur et au froid, aux diarrhées

ÉTUDE	IMPACT PRÉVU SUR LE PIB	SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	CATÉGORIES D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES INCLUSES DANS LES ÉVALUATIONS ¹
Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2015) (continué)			<ul style="list-style-type: none"> • Demande énergétique résidentielle : changements dans les coûts de chauffage et de refroidissement des locaux • Tourisme : changements dans les flux touristiques nets et les dépenses associées
Kompass et coll. (2018)	-0,10 % (+1 °C) à -0,32 % (+4 °C) de variation du PIB réel par an en 2100, par rapport au PIB prévu sans impacts des changements climatiques	Changement de +1 °C à +4 °C de la température annuelle moyenne mondiale d'ici 2100 par rapport aux niveaux préindustriels de 1850 à 1900	<ul style="list-style-type: none"> • Agriculture : changements dans les rendements de récolte • Zones côtières : perte de terres due à l'élévation du niveau de la mer • Santé publique : changements dans la productivité de la main-d'œuvre et les dépenses de santé dus aux maladies à transmission vectorielle, aux maladies liées à la chaleur et au froid, aux diarrhées • Santé au travail : changements dans la productivité de la main-d'œuvre dus au stress thermique

ÉTUDE	IMPACT PRÉVU SUR LE PIB	SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	CATÉGORIES D'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES INCLUSES DANS LES ÉVALUATIONS ¹
Lafakis et coll. (2019)	+0,31 % de variation du PIB réel en 2048 (quatrième trimestre), par rapport au PIB prévu sans impacts des changements climatiques	Changement prévu de la température annuelle moyenne mondiale en 2048 dans le cadre du RCP8.5 par rapport aux niveaux préindustriels de 1986 à 2005	<ul style="list-style-type: none"> • Agriculture : changements dans les rendements de récolte • Zones côtières : perte de terres • Santé publique : changements dans la productivité de la main-d'œuvre et les dépenses en soins de santé dues aux maladies à transmission vectorielle, aux maladies liées à la chaleur et au froid, aux diarrhées • Santé au travail : changements dans la productivité de la main-d'œuvre dus au stress thermique • Demande énergétique résidentielle : changements dans les coûts de chauffage et de refroidissement des locaux • Tourisme : changements dans les flux touristiques nets et les dépenses connexes

¹ Les impacts biophysiques et économiques sont dérivés d'études indépendantes pour chaque catégorie d'impact des changements climatiques, et ces informations sont utilisées pour développer des « chocs » dans les modèles macroéconomiques mondiaux afin de simuler les impacts sur le PIB. Par exemple, Lafakis et coll., 2019, ont utilisé des changements prévus dans les prix du pétrole pour choquer le modèle macroéconomique analytique de Moody's pour les changements prévus dans la demande énergétique résidentielle liée aux changements climatiques.

Les trois études suggèrent que les impacts prévus des changements climatiques sur le PIB réel annuel du Canada seront inférieurs à (plus ou moins) 1 %. Bien qu'il s'agisse d'un faible pourcentage à l'échelle nationale, cela représente tout de même des montants très importants, qui seront notables pour les secteurs et les régions du Canada qui seront touchés. Aussi bien l'étude de Moody's Analytics que celle de l'OCDE prévoient de faibles gains nets pour l'économie canadienne. Dans chaque cas, le principal facteur à l'origine de ce résultat est l'augmentation prévue des flux touristiques, avec une diminution des départs nationaux et

une augmentation des arrivées internationales à mesure que le Canada se réchauffe. Ces gains compensent largement les pertes de production attribuables aux autres impacts liés aux changements climatiques qui ont été analysés. Toutefois, les hausses prévues des flux touristiques pour le Canada doivent être considérées avec prudence, en raison de la nature globale et simplifiée du modèle d'impact sous-jacent, dans lequel les flux touristiques ne dépendent que de la température annuelle moyenne, des revenus par habitant, d'un indice d'attrait et de la distance entre les capitales des pays d'origine et de destination (Hamilton et coll., 2005). D'autres déterminants essentiels pour les flux touristiques futurs sont ignorés, notamment l'influence de l'évolution des régimes des précipitations, les contraintes liées à l'offre sur la disponibilité des infrastructures touristiques ainsi que les effets de rétroaction sur les arrivées internationales dus à la réduction des revenus dans les pays d'origine liée aux impacts des changements climatiques sur d'autres secteurs de l'économie mondiale. Kompass et coll. (2018) ont délibérément exclu de leur analyse les fonctions de dommages liés aux changements climatiques pour le tourisme en raison de ces préoccupations, et ils ont prévu de faibles pertes nettes pour l'économie canadienne liées aux changements climatiques.

Des estimations de l'impact global des changements climatiques sur l'économie canadienne sont disponibles dans une autre étude macroéconomique mondiale. Kahn et coll. (2019) ont utilisé une approche empirique « descendante », qui estime une relation entre une variable climatique (p. ex. la température) et une mesure globale de la production économique pour l'ensemble de l'économie (p. ex. le PIB national), pour étudier l'impact des changements climatiques sur la croissance économique à long terme dans 174 pays, dont le Canada. Pour mettre les résultats de cette étude en perspective, le modèle d'évaluation intégrée PAGE09 utilisé par la TRNEE mesure les impacts des changements climatiques sur les niveaux de PIB, et non sur le taux de croissance du PIB (c.-à-d. qu'il mesure les effets de la croissance à court terme). Cependant, les changements climatiques peuvent causer des dommages durables aux stocks de capital et à la productivité dans la plupart des secteurs de l'économie, et sont susceptibles d'avoir un impact sur les taux de croissance à long terme (Revesz et coll., 2014; Stern, 2013). Dans ce cas, la production et la consommation à une date ultérieure ne dépendront pas uniquement de la température à cette date, mais seront plus susceptibles d'être touchées par l'ensemble de l'évolution de la température, de la production et de la consommation jusqu'à cette date. Les études qui ont examiné les impacts des changements climatiques sur les taux de croissance du PIB ont constaté des pertes nettement plus importantes que les études qui ont mesuré les impacts sur le niveau annuel du PIB (Diaz et Moore, 2017a, b). Les évaluations résumées dans l'annexe 6.1 incorporent un mélange des deux effets : certains des impacts sectoriels analysés ont eu une incidence sur les taux de croissance du PIB (p. ex. les dommages causés par l'élévation du niveau de la mer aux stocks de capital), tandis que d'autres ont eu une incidence sur les niveaux de production (p. ex. les changements dans les rendements de récolte).

Kahn et coll. (2019) ont utilisé un modèle reliant les écarts de température annuelle moyenne dans les normes passées, au cours de la période de 1960 à 2014, aux variations de la productivité de la main-d'œuvre (voir l'étude de cas 6.2), puis au PIB réel par habitant. Le modèle a été utilisé pour étudier l'effet cumulatif des changements de la productivité de la main-d'œuvre résultant des augmentations persistantes de la température annuelle moyenne dans le cadre du RCP8.5. Contrairement aux projections présentées dans l'annexe 6.1, Kahn et coll. (2019) ont constaté que les changements climatiques réduiraient considérablement le PIB réel par habitant au Canada en 2050 et en 2100, de 4,4 % et de 13,1 %, respectivement.

Les études macroéconomiques mondiales dont il est question ci-dessus ont plusieurs limites, ce qui signifie que les impacts prévus des changements climatiques pour le Canada sont probablement très largement négatifs et beaucoup plus marqués que ce qui est indiqué. Pour commencer, de nombreux impacts importants ont été omis, notamment les impacts sur le bétail et l'aquaculture, les changements dans les rendements de la foresterie, les impacts associés à la propagation d'espèces envahissantes et de ravageurs, les impacts du stress hydrique sur la production d'électricité et la disponibilité d'eau potable pour les utilisateurs finaux, les impacts sur la sécurité humaine (p. ex. les conflits et les migrations) et les impacts sur la prestation d'écoservices. De plus, les études macroéconomiques ne peuvent pas rendre compte des impacts non liés au marché, comme les pertes de bien-être dues aux impacts sur les écoservices culturels, la mortalité prématurée ou la douleur et la souffrance dues aux maladies ou aux blessures. Les conséquences économiques des phénomènes météorologiques extrêmes n'ont pas non plus été abordées, à l'exception des ouragans dans l'étude de l'OCDE. Les coûts de ces catastrophes peuvent être considérables (voir les sections 6.4, 6.5.2 et 6.5.3). Enfin, les catastrophes perturbatrices de grande envergure ou à « gravité extrême » n'ont pas été prises en compte.

Étude de cas 6.2 : L'impact des changements climatiques sur le travail et la production

Un champ de recherche en plein essor sur les conséquences macroéconomiques des changements climatiques consiste à examiner l'impact de la température et du stress thermique sur la productivité des travailleurs dans l'ensemble de l'économie (p. ex. Newell et coll., 2018; Heal et Park, 2016; Kjellstrom et coll., 2015; Dell et coll., 2014). Il existe une relation observable entre la température des lieux de travail et le rendement : au-delà d'une certaine température, la productivité horaire des travailleurs ou le temps alloué au travail diminue (Zivin et Neidell, 2014; Dunne et coll., 2013; Kjellstrom et coll., 2013; 2009). Par exemple, Vanos et coll. (2019) ont constaté que les manœuvres d'un site industriel extérieur en Ontario ont perdu, en moyenne, 22 heures chaque été (soit l'équivalent d'environ 1 % des heures de travail annuelles) en raison de pauses ou d'arrêts de travail dus au stress thermique.

Le risque de maladies liées à la chaleur augmente avec le niveau d'effort physique requis pour effectuer une tâche donnée, la durée de la tâche, l'expérience du travailleur dans l'exécution de la tâche et la température ambiante du milieu de travail (Emploi et Développement social Canada, 2018). La chaleur générée par le corps a besoin d'être transférée vers l'environnement extérieur pour éviter que la température du corps n'augmente. Si le corps est incapable de dissiper la chaleur, il commence à ressentir des étourdissements, des crampes musculaires et de la fièvre. Dans des circonstances extrêmes, une exposition à des températures chaudes peut provoquer une détresse cardiovasculaire, respiratoire et cérébrovasculaire aiguë susceptible de mettre la vie en danger (Emploi et Développement social Canada, 2018).

À des températures plus basses sur les lieux de travail, avant que ces effets plus graves sur la santé ne se produisent, les travailleurs peuvent ressentir une diminution de leur « capacité de travail » (Kjellstrom et coll., 2015), où un stress lié à la température peut toucher les travailleurs de deux façons (Heal et Park, 2016) :

1) un inconfort physique ou psychologique direct et 2) une réduction de la productivité associée à la tâche,

ce qui altère le degré d'effort exercé au cours d'une heure donnée ou le rendement marginal de cet effort. Ces deux effets directs peuvent nuire à l'offre de main-d'œuvre ou à la productivité, ce qui entraîne une perte de production économique (OIT, 2019; Dell et coll., 2012). De plus en plus d'auteurs constatent que ces pertes peuvent être substantielles dans divers scénarios climatiques futurs, en particulier pour les secteurs à haut risque dont la main-d'œuvre travaille principalement à l'extérieur (p. ex. l'agriculture, la foresterie, la construction, l'exploitation minière, les transports, les services publics) (Zivin et Neidell, 2014). Par exemple, la Environmental Protection Agency des États-Unis (2017) a constaté qu'environ 1,9 milliard d'heures de travail dans des secteurs à haut risque seront perdues chaque année aux États-Unis d'ici 2090 dans le cadre du RCP8.5 en raison de l'exposition des lieux de travail à des extrêmes de température (c.-à-d. une moyenne des températures maximales quotidiennes supérieure à 80 °F) (voir également Chavaillaz et coll., 2019; Behrer et Park, 2017; US Environmental Protection Agency, 2015; Rhodium Group, 2014; Kovats et coll., 2011). Cela équivaut à environ 160 milliards de dollars (en dollars US de 2015) en salaires perdus par an d'ici 2090, les salaires bruts étant utilisés comme une mesure approximative de la valeur de la production économique perdue (US Environmental Protection Agency, 2015), ce qui représente un peu moins d'un tiers du total des dommages annuels estimés dans le cadre du RCP8.5 pour toutes les catégories d'impact analysées. Les impacts prévus sur la productivité de la main-d'œuvre constituaient la catégorie d'impact la plus importante sur le plan économique (US Environmental Protection Agency, 2017).

Des estimations de l'impact des changements climatiques sur le stress thermique en milieu professionnel et les décisions connexes relatives à la main-d'œuvre, la productivité de la main-d'œuvre et la production économique pour le Canada ne sont disponibles que dans des études à échelle mondiale, et seulement du point de vue national (p. ex. Chavaillaz et coll., 2019; Kahn et coll., 2019). Kahn et coll. (2019) ont constaté que l'effet cumulatif des changements de la productivité de la main-d'œuvre dus aux augmentations persistantes de la température annuelle moyenne dans le cadre du RCP8.5, par rapport aux normes passées, au cours de la période de 1960 à 2014, a considérablement réduit le PIB réel par habitant au Canada en 2050 et en 2100, et ce, de 4,4 % et de 13,1 % respectivement. On pourrait s'attendre à ce que ces pertes au niveau national soient réparties de façon inégale dans l'ensemble du Canada. L'ampleur des pertes dans une région dépendra de l'évolution prévue de la répartition historique des températures quotidiennes en fonction des changements climatiques et de la structure de l'économie, en termes de contributions relatives des secteurs à haut risque (main-d'œuvre travaillant principalement à l'extérieur) et à faible risque (main-d'œuvre travaillant principalement à l'intérieur) à la production globale.

Les données probantes disponibles plaident fortement en faveur de l'inclusion des impacts du stress thermique en milieu professionnel dans les futures analyses macroéconomiques des conséquences économiques des changements climatiques pour le Canada. Il est important que ces évaluations tiennent compte de l'hétérogénéité entre les régions en matière de composition sectorielle de leur économie.

6.5.3 Évaluation des coûts sectoriels et régionaux

Alors que seules quelques études fournissent des estimations des coûts globaux pour de multiples secteurs au Canada, beaucoup plus d'études ont examiné les conséquences économiques des changements climatiques pour des secteurs particuliers sensibles au climat (p. ex. la foresterie, l'agriculture, les zones côtières). L'annexe 6.1 fournit un résumé de ces études et résultats, organisé par secteur sensible au climat.

Il est presque impossible de comparer l'ampleur et l'importance relatives des conséquences économiques estimées entre les secteurs sensibles au climat, ou même au sein d'un même secteur, en raison des différentes hypothèses et méthodes utilisées pour les différentes études. Outre les différences de portée géographique, les principales différences qui influencent les résultats entre les études sont les suivantes :

- Le choix du ou des scénarios d'émissions à l'origine des impacts biophysiques et, par conséquent, de la ou des périodes futures et des normes climatiques utilisées pour mesurer les changements dans les variables climatiques pertinentes. Dans le cas des zones côtières, par exemple, certaines études utilisent l'ancien rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions (SRES), tandis que d'autres utilisent les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP). Cela a une incidence sur l'horizon temporel sur lequel les flux de pertes ou de gains sont regroupés (p. ex. les études de l'annexe 6.1 évaluant les mêmes endroits de la zone côtière utilisent trois périodes différentes : 2009–2054, 2015–2064 et 2011–2100).
- Les hypothèses sur les développements socio-économiques futurs, qui influenceront à la fois la quantité et l'évaluation monétaire des bâtiments, des infrastructures, des cultures, etc. qui sont touchés dans le cadre de la situation de référence supposée et par rapport auxquels les impacts des changements climatiques prévus sont évalués. Certaines de ces études ont examiné l'impact des changements climatiques futurs sur un secteur donné à ce jour (sur la base d'informations actuelles ou passées), tandis que d'autres, comme les études de la TRNEE (2011) sur la foresterie et les zones côtières, ont examiné l'impact des changements climatiques futurs sur les projections pour le secteur.
- Si un ou plusieurs impacts biophysiques sont pris en compte. Par exemple, certaines études portant sur les zones côtières ont inclus l'érosion et les inondations dues à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête, tandis que d'autres n'ont considéré que les impacts des inondations.
- Les types de conséquences économiques résultant des impacts biophysiques inclus dans l'analyse. La plupart des études n'ont pris en compte que les impacts directs (p. ex. les coûts liés aux dommages, les changements dans la valeur des terres agricoles, les revenus perdus provenant de la pratique du ski, l'augmentation des coûts d'exploitation des stations de ski ou des coûts d'extinction des incendies), tandis que certaines études ont également évalué les impacts indirects et macroéconomiques. Les études les plus récentes ont mesuré les conséquences économiques en termes de changements dans le PIB ou le bien-être prévus, qui ont été estimés à l'aide de modèles IEG. De plus, certaines études qui ne mesuraient que les impacts directs tenaient compte à la fois des impacts liés au marché et des impacts non liés au marché (p. ex. les études sur les zones côtières du Québec), tandis que d'autres ne tenaient compte que des premiers.

- Le choix de l'outil de modélisation économique, notamment en ce qui concerne l'agriculture. La plupart des études agricoles recourent à un modèle ricardien (une approche qui estime une relation empirique entre la valeur des terres et les variables climatiques) pour estimer les conséquences économiques des changements climatiques sur la valeur des terres agricoles, tandis que certaines utilisent des modèles IEG. Comme mentionné ci-dessus, les modèles IEG mesurent les impacts directs et indirects et tiennent compte des réactions comportementales induites par le marché (prix) dans toute l'économie; quant aux modèles ricardiens, ils ne saisissent que les impacts directs et supposent généralement que les prix sont fixes. Les résultats des deux approches de modélisation appliquées à l'agriculture ne sont par conséquent pas comparables.
- Que les conséquences économiques soient mesurées en dollars actuels (nominaux) ou en dollars constants (réels) et que l'année de référence soit choisie dans ce dernier cas (p. ex. les études sur les zones côtières ont mesuré les coûts en dollars constants de 2000, de 2008 et de 2012). Cet enjeu est toutefois moins important, puisqu'il est possible d'exprimer tous les résultats en prix d'une année de référence commune.
- Le choix du taux d'actualisation, où les résultats sont présentés comme la valeur actuelle des pertes ou des gains cumulés sur un horizon temporel défini (p. ex. certaines études utilisent un taux d'actualisation annuel réel de 3 %, tandis que d'autres utilisent un taux de 4 %). Un taux d'actualisation plus élevé produira des coûts ou des avantages en valeur actuelle plus faibles, tandis qu'un taux d'actualisation plus faible produira l'inverse. À titre de référence, la valeur d'un coût de 1 \$ (en 2020) encouru dans les années 2080 est de 0,15 \$ et de 0,08 \$ à un taux d'actualisation de 3 % ou de 4 %, respectivement. Certaines études présentent également des coûts ou des avantages non actualisés. L'actualisation et les taux d'actualisation sont abordés à la section 6.6.3.2.

Bien que les facteurs susmentionnés rendent difficile l'établissement de conclusions fermes sur l'ampleur des impacts économiques, il est possible de tirer des conclusions sur la direction des impacts prévus pour tous les secteurs étudiés, à l'exception de l'agriculture. Les données probantes disponibles (fondées sur les études énumérées à l'annexe 6.1) suggèrent que les changements climatiques auront des conséquences économiques majoritairement négatives sur la foresterie, les zones côtières, la santé humaine au Québec, les niveaux d'eau (faibles) dans la région des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, les stations de ski en Colombie-Britannique et au Québec, et les routes de glace servant de voies d'accès dans les Territoires du Nord-Ouest. Les observations clés de cette série d'études, par secteur sensible au climat, sont présentées ci-dessous.

6.5.3.1 Foresterie

Les impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois d'œuvre (liés à des facteurs comme la productivité des forêts, les incendies, les ravageurs et les maladies) risquent de réduire la production, le PIB et le bien-être liés au secteur forestier. À l'échelle nationale, les pertes cumulées de PIB en valeur actualisée sur 70 ans jusqu'en 2080 pourraient atteindre 459 milliards de dollars (en dollars de

2008), sans mesures d'adaptation (Ochuodho et coll., 2012). Les pertes ne sont pas réparties uniformément dans l'ensemble du Canada : la Colombie-Britannique, la Saskatchewan, le Manitoba et les Territoires sont les régions les plus touchées en termes de pertes de PIB prévues (Ochuodho et coll., 2012; TRNEE, 2011). En revanche, le Québec et l'Ontario pourraient connaître de légères améliorations du PIB selon le scénario le plus optimiste des impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois d'œuvre, et des pertes modestes selon le scénario le plus pessimiste (Ochuodho et coll., 2012). Les changements climatiques devraient également augmenter les coûts historiques de gestion des incendies à l'échelle nationale de 60 à 120 % par an d'ici les années 2080, l'Alberta et la Saskatchewan connaissant des augmentations de coûts beaucoup plus importantes que la moyenne nationale (Hope et coll., 2015).

6.5.3.2 Régions côtières

On prévoit que les changements climatiques imposeront des coûts aux régions côtières du Canada. D'ici 2050, les dommages annuels causés par les inondations côtières attribuables aux changements climatiques pourraient varier de 1 à 8 milliards de dollars (en dollars de 2008), selon le scénario de croissance et d'émissions (TRNEE, 2011). En valeur actuelle, les pertes cumulées pour la période de 2011 à 2100 pourraient atteindre 380 milliards de dollars (en dollars de 2008) (TRNEE, 2011). Comme dans le secteur forestier, les pertes sont réparties de façon inégale dans l'ensemble du Canada : on estime que la Colombie-Britannique subira les pertes les plus importantes, représentant plus de 80 à 90 % des pertes totales à l'échelle nationale (Withey et coll., 2016; TRNEE, 2011). Des études régionales détaillées portant sur des tronçons déterminés de la côte au Québec et au Canada atlantique révèlent également une variation importante des pertes prévues, ce qui suggère que les coûts économiques des inondations côtières liées aux changements climatiques sont propres à chaque site (Boyer-Villemaire et coll., 2016; Circé et coll., 2016b; Parnham et coll., 2016).

6.5.3.3 Niveaux d'eau

On s'attend à ce que les bas niveaux d'eau dans certaines parties du réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, en raison des changements climatiques à venir, aient un impact négatif sur toute une série d'activités économiques, de possibilités de loisirs et d'autres commodités riveraines. Les coûts cumulatifs en valeur actuelle associés à ces impacts devraient s'élever à 12 milliards de dollars sur 50 ans jusqu'en 2065 (en dollars de 2012) (Dorling et Hanniman, 2016; Millerd, 2005). Environ 90 % de ces coûts résultent de trois impacts économiques : le remplacement de la production hydroélectrique perdue (50 %), le manque à gagner des services écologiques et de la pêche (25 %) et la perte de capacité d'expédition (15 %) (Dorling et Hanniman, 2016; Millerd, 2005).

6.5.3.4 Santé humaine

Les modifications de l'incidence des problèmes de santé sensibles au climat dans les conditions climatiques futures peuvent accroître les dépenses en soins de santé et les pertes de bien-être. Au Québec, la valeur actuelle des dépenses cumulatives en services de santé attribuables à l'impact des changements climatiques sur les maladies à transmission vectorielle, les périodes de chaleur accablante et les aéroallergènes est estimée à un peu moins d'un milliard de dollars sur 50 ans jusqu'en 2065 (en dollars de 2012) (Larrivée et coll., 2015). La valeur actuelle des pertes de bien-être cumulées associées à l'augmentation de la mortalité, mesurée à l'aide de la valeur d'une vie statistique, est d'environ 35 milliards de dollars (en dollars de 2012) sur la même période (Larrivée et coll., 2015). Ce résultat est cohérent avec d'autres études économiques de l'impact des changements climatiques sur la santé humaine : les pertes de bien-être peuvent largement dépasser les coûts des ressources de santé (p. ex. Paci, 2014; Kovats et coll., 2011).

6.5.3.5 Stations de ski

Les changements climatiques devraient avoir un impact négatif sur la viabilité économique des stations de ski. Par exemple, on estime que le revenu net de trois stations au Québec diminuera d'un peu moins de 30 % sur une période de 20 ans, jusqu'en 2045, en raison des changements dans la durée de la saison de ski et dans les conditions d'enneigement (DaSilva et coll., 2019). Les données probantes concernant Fernie et Whistler, en Colombie-Britannique, montrent également que l'impact des changements climatiques sur les conditions d'enneigement peut réduire la valeur des propriétés dans les stations (Butsic et coll., 2011).

6.5.3.6 Agriculture

Contrairement à d'autres secteurs sensibles au climat, la plupart des documents disponibles résumés dans l'annexe 6.1 suggèrent que les conséquences économiques des changements climatiques sur l'agriculture au Canada pourraient être positives et potentiellement importantes, et ce, même d'ici les années 2080 et en particulier pour les provinces des Prairies. Par exemple, les augmentations estimées de la valeur des terres agricoles d'ici les années 2050 dans les Prairies résultant des changements climatiques atteignent jusqu'à +40 % (Amiraslany, 2010). Une petite région du Sud-Est de l'Alberta fait exception, car on y prévoit une diminution de la valeur des terres agricoles au cours du siècle. En dollars, les augmentations prévues de la valeur des terres agricoles dans les Prairies d'ici les années 2050 pourraient représenter un peu moins de 25 % de la valeur du PIB agricole en 2011 (Amiraslany, 2010). Ces avantages ont été estimés à partir de modèles ricardiens de la valeur des terres agricoles et doivent donc être considérés comme optimistes. On suppose que les relations établies par ces modèles statistiques sont valables au-delà de l'éventail des données empiriques probantes dont elles sont issues. Or, cela pourrait ne pas être le cas, surtout vers la fin du siècle. En outre, les relations estimées tiennent compte des adaptations autonomes dans le passé, opérées par les agriculteurs. Toutefois, les agriculteurs pourraient être confrontés à de nouveaux obstacles entravant le recours à des mesures privées à l'avenir (voir la section 6.8.1), ce qui réduirait l'efficacité de l'adaptation autonome. Aucune des études agricoles dans l'annexe 6.1 ne tient compte de l'impact des changements

climatiques et des phénomènes météorologiques extrêmes sur la production agricole et la valeur des terres, ni de celui des changements dans les dommages causés par les ravageurs ou du moment des précipitations.

Les études utilisant des modèles IEG tenant compte des flux des échanges commerciaux interprovinciaux et internationaux ont produit des valeurs différentes et plus conservatrices. Une étude a indiqué que les impacts des changements climatiques sur les cultures agricoles augmenteraient le PIB au Canada jusqu'en 2050 (Ochuodho et Lantz, 2015), tandis qu'une autre étude qui a tenu compte des impacts sur le bétail et les aliments transformés, en plus des impacts sur les cultures, a estimé que le PIB au Canada diminuerait légèrement d'ici les années 2080 (Zhai et coll., 2009). Ce dernier résultat est principalement dû à une forte baisse de la production de bétail. À l'aide d'un modèle mondial multisectoriel, l'OCDE (2015) a également prévu une baisse du PIB due aux impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Canada d'ici 2060.

Une étude (Ochuodho et Lantz, 2015) qui a généré des résultats régionaux pour le Canada à l'aide d'un modèle IEG a constaté que les gains de PIB les plus importants, exprimés en pourcentage d'augmentation du PIB, se situaient principalement dans les provinces des Prairies. Il est intéressant de noter que les augmentations du PIB dues aux changements climatiques ne se traduisent pas par des changements proportionnels au bien-être des consommateurs et n'entraînent pas nécessairement une augmentation de celui-ci. Les changements de prix, la substitution des intrants et les dynamiques des échanges commerciaux peuvent entraîner des pertes de bien-être pour les consommateurs, malgré une augmentation du PIB. Par exemple, la valeur cumulative actuelle du PIB au Manitoba sur 45 ans devrait augmenter de 1,3 %, tandis que le bien-être économique devrait diminuer de 0,1 % au cours de la même période. Pour les mêmes raisons, tout en augmentant la richesse des agriculteurs, les impacts avantageux des changements climatiques estimés par les modèles ricardiens ne se traduisent pas nécessairement par une amélioration du bien-être des consommateurs..

6.5.4 Évaluation des coûts municipaux

Des projections des conséquences économiques des changements climatiques ont également été réalisées pour certaines villes au Canada. L'annexe 6.2 fournit un résumé des principales études propres à certaines villes, dont la portée, les méthodes, les scénarios d'émissions, les hypothèses socio-économiques, les horizons temporels envisagés et les mesures de l'impact économique varient considérablement, ce qui rend toute comparaison difficile. Il est également difficile de tirer des conclusions assurées en raison du faible nombre d'études. Néanmoins, les premières observations tirées des données probantes disponibles suggèrent que les conséquences économiques nettes des changements climatiques pour les villes devraient être négatives.

Il ressort également des études dans l'annexe 6.2 que la portée de l'analyse (c.-à-d. le nombre de dangers liés aux changements climatiques, d'impacts biophysiques et d'expositions pris en compte, et si les impacts économiques comprennent à la fois les impacts directs et indirects, ainsi que les impacts liés au marché et non liés au marché) est un déterminant important de l'ampleur des coûts prévus. Par exemple, les impacts non liés au marché représentaient 23 à 42 % du coût total des inondations dues aux changements climatiques à Fredericton (Lantz et coll., 2012). L'omission des impacts non liés au marché dans ces analyses entraînerait une sous-estimation importante des coûts liés aux changements climatiques prévus. La portée

de l'analyse de la Ville d'Edmonton (voir l'étude de cas 6.3) était plus approfondie que celle des autres études municipales et comprenait beaucoup plus d'impacts liés aux changements climatiques (17 impacts à déclenchement rapide ainsi que des changements dans les degrés-jours de chauffage et de climatisation) sur un inventaire plus large de bâtiments, de biens, d'infrastructures et de services exposés, ainsi que des impacts économiques non liés au marché sur la santé humaine et l'environnement naturel. Cette portée plus étendue comprend également les impacts directs et indirects, ce qui explique pourquoi les coûts prévus liés aux changements climatiques par l'étude sont relativement élevés : les coûts annuels prévus pour le PIB sont de 1,6 milliard de dollars en 2055 et de 3,5 milliards de dollars en 2085 (tous deux en dollars de 2016), ce qui équivaut à 1,6 % et à 1,9 %, respectivement, du PIB prévu pour la ville.

Toutes les études ont utilisé des approches de modélisation ascendantes, basées sur les processus. Les études de la Ville d'Edmonton, de la Ville de Halifax et de la Ville de Mississauga ont également adopté de bonnes pratiques, en déterminant les pertes différentielles attribuables aux changements climatiques avec et sans développement socio-économique par rapport à aujourd'hui. Cela permet une analyse de la manière dont le développement socio-économique en relation avec les changements climatiques contribue aux coûts économiques prévus, ainsi qu'une analyse qui isole la portion attribuable aux seuls changements climatiques. Conformément aux observations des études régionales multisectorielles examinées à la section 6.5.3, la croissance du stock « à risque » vis-à-vis des changements climatiques et la hausse de la valeur de ce stock peuvent constituer un déterminant des coûts économiques futurs aussi important que les changements climatiques eux-mêmes (voir l'étude de cas 6.3).

Étude de cas 6.3 : Évaluation par la Ville d'Edmonton des coûts nets engendrés par les changements climatiques

En 2016, la Ville d'Edmonton a entamé un processus d'enquête pour mieux comprendre l'évolution historique du climat local et la façon dont il pourrait évoluer à l'avenir. Dans le cadre de ce processus, une évaluation multisectorielle de la vulnérabilité et des risques (EVR) liés aux changements climatiques, menée par les intervenants, a été réalisée afin de mesurer les risques et les occasions potentiels résultant de ces changements. Cette démarche a notamment consisté à quantifier les coûts sociaux et les coûts du PIB liés aux changements climatiques pour Edmonton afin de renforcer l'analyse de rentabilisation en vue d'agir. La portée de l'EVR et de l'analyse économique (Boyd, 2018) était large et comprenait l'adoption d'une approche à l'échelle de la collectivité, ainsi que la prise en compte des impacts biophysiques liés aux changements climatiques sur 17 domaines de services d'actifs (p. ex. la santé de la population, les infrastructures essentielles, les routes, les zones naturelles aménagées, la forêt urbaine, les bâtiments). Les impacts et les coûts attribuables à 19 dangers liés aux changements climatiques ont été évalués, y compris une série de phénomènes extrêmes (p. ex. chaleur extrême, pluie verglaçante, vents violents, fortes précipitations) et de changements à évolution lente (p. ex. moment de la période sans gel, degrés-jours de chauffage). Pour chaque phénomène extrême pris en considération, les impacts ont été quantifiés pour un niveau d'intensité déterminé (p. ex. des vitesses de vent supérieures ou égales à 90 km par heure). Les séquences d'impact suivantes ont été incluses dans l'analyse :

- dommages physiques directs ou perte d'infrastructures, de bâtiments et d'installations publics et privés (p. ex. coûts de réparation et de remplacement des structures, des équipements, du contenu et des inventaires);
- résultats directs sur la santé physique et mentale, la morbidité et la mortalité (p. ex. pertes de bien-être);
- dommages physiques directs aux sites naturels aménagés et aux arbres urbains, ou perte de ceux-ci (p. ex. coûts de restauration et de remplacement);
- pertes de services dues aux dommages causés aux arbres urbains ou à leur disparition (p. ex. perte de valeur écologique non liée au marché);
- pertes de services dues à la dégradation des écosystèmes aquatiques et terrestres (p. ex. perte de valeur écologique non liée au marché);
- pertes de services de transport routier (p. ex. valeur totale perdue du nombre de kilomètres parcourus par les voyageurs et du nombre de kilomètres parcourus par les véhicules de transport de marchandises);
- pertes de service dans les immeubles résidentiels (p. ex. frais de réinstallation);
- pertes de services dues aux dommages causés aux bâtiments publics, commerciaux et industriels (p. ex. frais de réinstallation, valeur de la production perdue).

Les coûts prévus des changements climatiques pour la Ville d'Edmonton ont été estimés en quatre étapes :

1. Les coûts et les impacts biophysiques ont été évalués pour l'exposition de l'inventaire 2018 de tous les « actifs/services » d'Edmonton aux conditions climatiques moyennes de la normale climatique de 1981 à 2010. Cela permet d'obtenir une mesure de référence des coûts en 2018.
2. Pour tenir compte du développement socio-économique futur, chaque composante de l'inventaire des actifs/services de 2018 a été projetée jusqu'en 2100, en utilisant une combinaison d'études de croissance existantes pour Edmonton et de relations estimées à partir de données historiques. Les données pertinentes d'évaluation du marché et non liées au marché ont également été projetées jusqu'en 2100. L'inventaire et la valeur futurs projetés de tous les « actifs/services » ont ensuite été réexposés aux conditions climatiques moyennes de la normale climatique de 1981 à 2010. Les coûts annuels différentiels attribuables au développement socio-économique en l'absence de nouveaux changements climatiques (et en supposant qu'aucune adaptation supplémentaire n'est planifiée) ont été estimés à environ 3,1 milliards de dollars d'ici les années 2050 et à 8,5 milliards de dollars d'ici les années 2080 (voir la figure 6.7a). Ces projections de coûts reflètent le flux non actualisé des coûts (en dollars constants de 2016) attribuables aux impacts liés aux changements climatiques sur Edmonton au cours d'une année moyenne, centrée sur chaque période (2041–2070 et 2071–2100).
3. L'inventaire et la valeur projetés de tous les « actifs/services » sont exposés aux conditions climatiques prévues dans le cadre du RCP8.5 pour les années 2050 et 2080 (en supposant qu'aucune adaptation supplémentaire n'est planifiée). Pour les phénomènes extrêmes compris dans cette portée, seules les modifications de leur probabilité annuelle d'occurrence ont été

modélisées, tandis que l'intensité du phénomène est restée constante. Les coûts annuels différentiels attribuables aux changements climatiques et au développement socio-économique ont été estimés à environ 7,8 milliards de dollars d'ici les années 2050 et à 19,1 milliards de dollars d'ici les années 2080.

4. Le coût différentiel ou imposé des changements climatiques projetés sur un Edmonton futur a été estimé en examinant la différence entre les résultats de l'étape 3 et de l'étape 2. D'ici les années 2050 et 2080, les coûts annuels imposés par les changements climatiques à une future ville d'Edmonton concurrente devraient s'élever à environ 4,7 et 10,3 milliards de dollars, respectivement.

Des tableaux d'entrées-sorties provinciaux ont été utilisés en combinaison avec des données sur l'emploi et la production pour Edmonton afin de générer des multiplicateurs du PIB, du revenu du travail, de l'emploi et de la production à l'échelle de la ville. Ces multiplicateurs ont ensuite été appliqués aux pertes de production prévues (c.-à-d. aux composantes commerciales des coûts présentés à la figure 6.7a) afin d'estimer le coût annuel total direct, indirect et induit par les changements climatiques sur le PIB d'Edmonton. Le coût du PIB de la Ville d'Edmonton imposé par les changements climatiques est d'environ 1,6 milliard de dollars par an d'ici les années 2050, et passera à environ 3,5 milliards de dollars par an d'ici les années 2080 (voir la figure 6.7b).

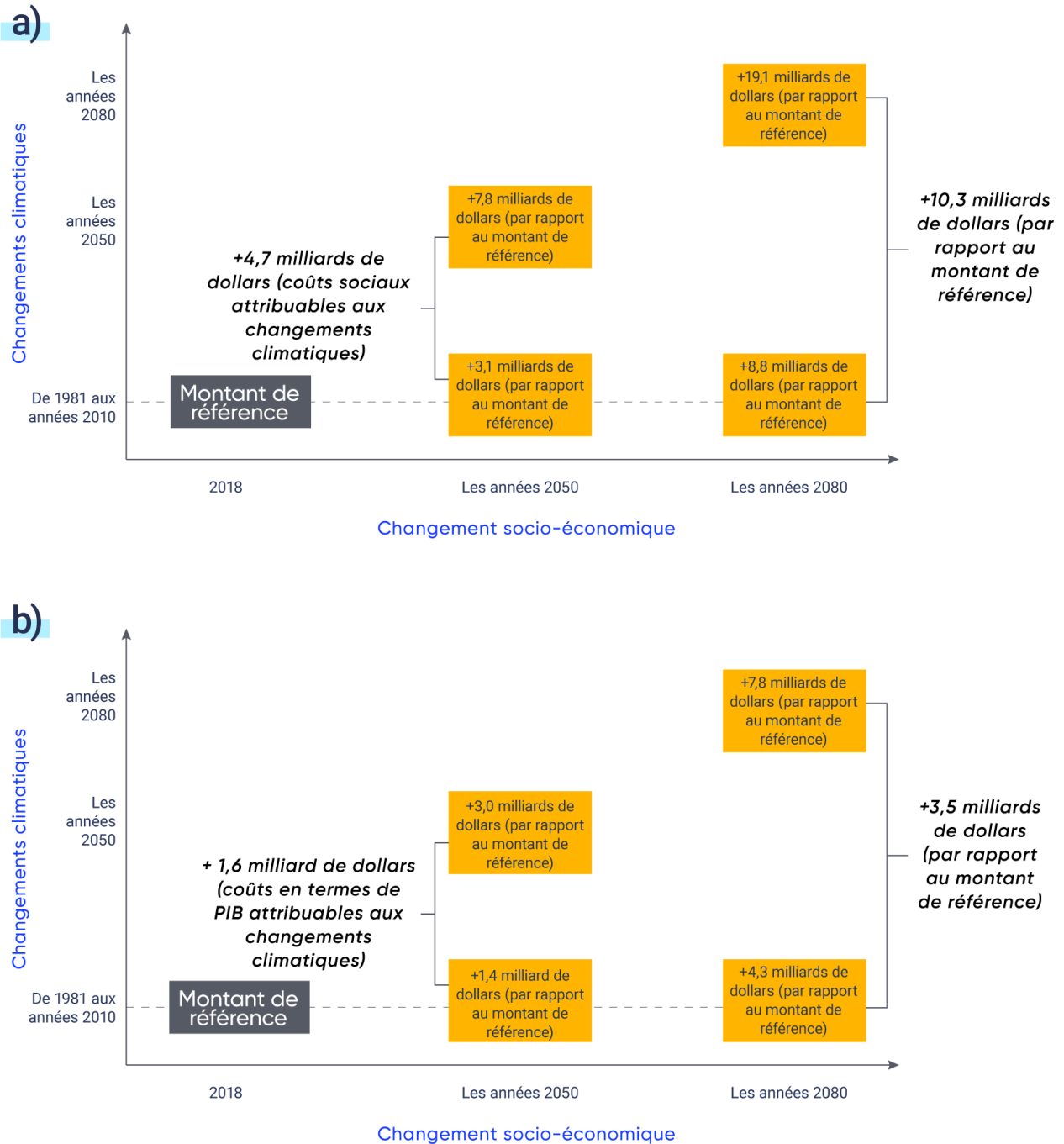
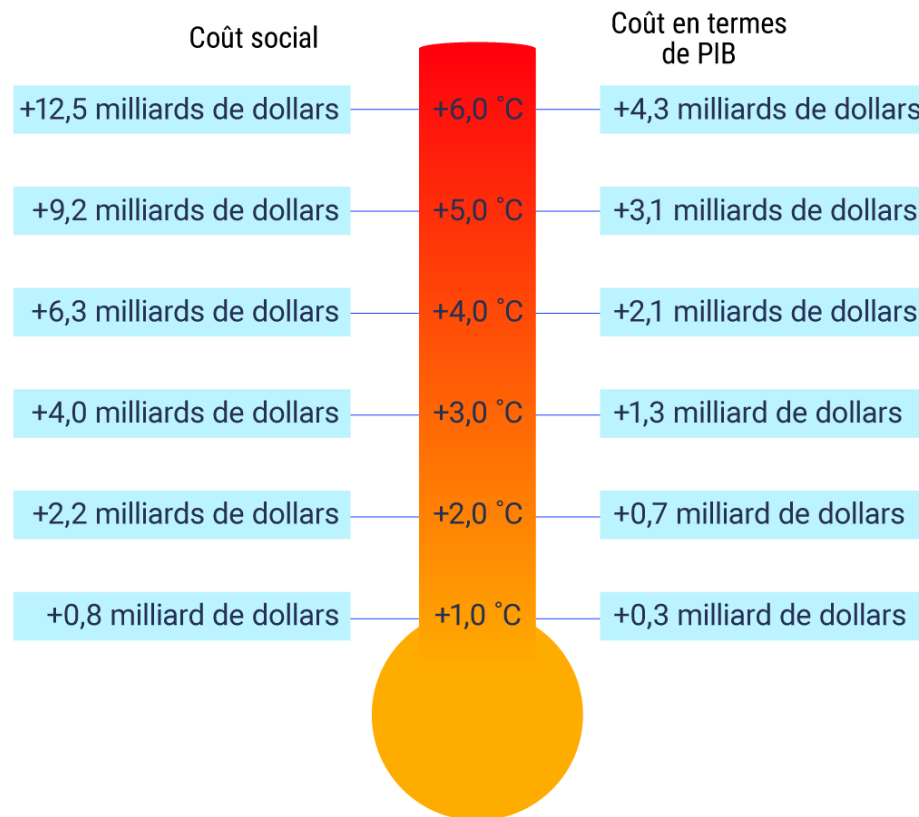


Figure 6.7 : a) Coûts sociaux annuels prévus et b) coûts du produit intérieur brut (PIB) pour la Ville d'Edmonton attribuables aux changements climatiques d'ici les années 2050 et 2080. Source : Adapté de Boyd, 2018.

Les fonctions de dommages qui sous-tendent les résultats présentés à la figure 6.7 ont été utilisées pour présenter les conséquences économiques croissantes des changements climatiques prévus pour la Ville d'Edmonton, en fonction de l'augmentation de la température annuelle moyenne au-dessus de la normale climatique de 1981 à 2010 (voir la figure 6.8).



Variation du coût en fonction de l'augmentation de la température annuelle moyenne par rapport à la moyenne de 1981 à 2010

Figure 6.8 : Coûts annuels sociaux et du produit intérieur brut (PIB) prévus pour la Ville d'Edmonton, attribuables à différents niveaux de changements climatiques au-dessus de la normale climatique de 1981 à 2010.

Source : Adapté de Boyd, 2018.

6.6 Outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie pour l'évaluation des options d'adaptation

Les sciences économiques offrent une gamme d'outils pour aider les décideurs à évaluer les mesures d'adaptation, à comprendre les compromis et à générer des informations sur les coûts et les avantages des différentes options. L'outil économique à privilégier dépend des critères de décision en matière d'adaptation, de la nature des impacts des changements climatiques et du niveau d'incertitude.

Bien qu'il n'existe pas d'approche uniforme, l'économie offre une gamme d'outils qui peuvent aider les décideurs à évaluer les options d'adaptation : chaque outil a ses forces et ses faiblesses en fonction du contexte de la décision en matière d'adaptation. Pour évaluer les mesures d'adaptation, il faut prendre en compte toute une série de facteurs, ainsi que les coûts et avantages financiers quantifiables. Cela inclut les impacts non monétaires et non liés au marché, les impacts positifs et négatifs connexes, les obstacles à la mise en œuvre, l'équité et, aspect important, l'incertitude. Il existe des méthodes permettant de saisir les impacts sur la répartition, les enjeux d'équité intergénérationnelle et les impacts non liés au marché dans les outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie comme l'analyse coûts-avantages (ACA). Il existe également une série de nouvelles approches qui fonctionnent avec des outils traditionnels comme l'ACA, mais qui sont plus à même de soutenir la prise de décisions en cas d'incertitude profonde, et d'incorporer le découpage temporel des mesures et des évaluations multimétriques, telles que les voies d'adaptation et la prise de décisions solides. Lorsque les outils économiques choisis ne tiennent pas compte de cet éventail de facteurs, la prise de décisions peut être biaisée au détriment des populations vulnérables, des groupes défavorisés, des générations futures, mais aussi des mesures « douces » qui ont moins de coûts, d'avantages et d'impacts non liés au marché quantifiables.

6.6.1 Introduction

Outre la recherche de données probantes sur les conséquences économiques des changements climatiques, les décideurs demandent de plus en plus d'informations sur les coûts, les avantages et les principaux compromis des mesures à prendre pour soutenir leurs décisions en matière d'adaptation. Cette section présente un examen des outils d'analyse économique pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation et fournira le contexte de la section suivante, qui examine l'application de ces outils au Canada. Avant d'examiner les outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie, des critères d'évaluation communs sont présentés pour mettre en évidence les compromis que les décideurs envisagent souvent lorsqu'ils prennent des décisions en matière d'adaptation.

6.6.2 Critères de décision

Les décideurs apportent des objectifs, des intérêts, des connaissances et des valeurs divers aux décisions relatives à l'adaptation aux changements climatiques. Il en résulte un large éventail de critères de décision à prendre en compte pour évaluer les différentes possibilités d'action. La littérature contient de nombreux critères de décision et regroupements de ces critères pour soutenir l'évaluation des mesures d'adaptation et leur mise en œuvre (p. ex. Rouillard et coll., 2016b; Weiland et Tröltzsch, 2015; PROVIA, 2013; Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2011). Ces examens concluent que l'évaluation des mesures d'adaptation devrait idéalement saisir les compromis entre tous les résultats pertinents (avantages) et tous les apports pertinents (coûts) nécessaires pour obtenir ces résultats. Deux autres considérations importantes concernent l'incertitude entourant les résultats escomptés et la facilité avec laquelle une mesure d'adaptation peut être mise en œuvre avec succès, ce qui aura également une incidence sur les coûts. Sur la base de ces examens, les principaux critères de décision généralement utilisés pour évaluer le mérite relatif des investissements dans les mesures d'adaptation sont décrits dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3 : Description des principaux critères de décision couramment utilisés pour évaluer les mesures d'adaptation

INTRANTS		OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Coûts	Coût total du cycle de vie Les coûts totaux de la mesure d'adaptation, y compris les éléments suivants, le cas échéant : coûts d'investissement initiaux (capital), coûts annuels récurrents (fonctionnement et entretien), coûts de renouvellement et de réinvestissement, coûts de déclassement et coûts de transaction.	Réduire au minimum les coûts totaux du cycle de vie pour une production cible donnée.
	Impacts négatifs connexes Effets secondaires négatifs de la mesure d'adaptation pour d'autres objectifs économiques, sociaux ou environnementaux du décideur. On peut citer comme exemple l'augmentation des émissions de GES, l'augmentation des risques pour d'autres groupes ou secteurs qui ne sont pas la cible de l'option en question, ou la limitation des options d'adaptation futures.	Garder au minimum les impacts négatifs globaux connexes.



INTRANTS		OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Facilité de mise en œuvre	Faisabilité La capacité du décideur de réussir à mettre en œuvre la mesure d'adaptation, dont l'accès aux connaissances, aux technologies, aux ressources humaines, au budget nécessaires, etc. (tous ces éléments qui pourraient constituer des obstacles à l'action). La faisabilité est également influencée par la présence de points d'entrée ou de fenêtres de possibilité pour mettre en œuvre l'option concernée.	Donner la priorité aux mesures les plus réalisables.
	Acceptabilité Le degré de soutien social, culturel, économique et politique de la mesure d'adaptation, tant de la part des personnes directement touchées (c.-à-d. les groupes qui en tirent avantage et assument les coûts) que du grand public.	Donner la priorité aux mesures qui ont le plus de soutien et le moins d'opposition.
EXTRANTS		OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Avantages	Efficacité La mesure dans laquelle la mesure d'adaptation atteint le ou les objectifs du décideur (p. ex. réduire les conséquences négatives anticipées d'une menace liée aux changements climatiques particulière, permettre la réalisation des conséquences avantageuses anticipées d'une possibilité liée aux changements climatiques).	Maximiser l'efficacité par la conception du projet.



EXTRANTS		OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Avantages (continué)	Pertinence L'importance de la menace ou de la possibilité liée aux changements climatiques visée par la mesure d'adaptation. Les menaces et les possibilités dont les conséquences sont « extrêmes » et dont il est « presque certain » qu'elles se concrétiseront auraient une pertinence élevée.	Donner la priorité aux mesures qui ciblent les menaces ou les possibilités les plus pertinentes.
	Retombées positives Effets secondaires positifs de la mesure d'adaptation pour d'autres objectifs économiques, sociaux ou environnementaux du décideur. On peut citer comme exemples la réduction des émissions de GES, les possibilités de loisirs, le maintien ou l'amélioration des services écosystémiques, les possibilités d'emploi, l'encouragement de l'innovation et la diminution des risques pour d'autres groupes ou secteurs qui ne sont pas la cible de l'option en cause.	Tenir compte des impacts positifs globaux connexes lors de la sélection parmi les options d'adaptation possibles.
	Équité Répartition équitable des coûts d'adaptation, des avantages et des impacts résiduels entre les groupes de la population et les générations. La mesure profite au plus grand nombre et au plus large éventail possible de personnes. L'équité englobe également la mesure dans laquelle les options réduisent les inégalités existantes (p. ex. envers les groupes ou les quartiers défavorisés).	Donner la priorité aux mesures équitables qui soutiennent les groupes défavorisés et à faible revenu, et qui s'attaquent aux inégalités existantes.

	EXTRANTS	OBJECTIF POTENTIEL DU DÉCIDEUR
Incertitude	<p>Urgence</p> <p>Désigne le délai dans lequel la mesure d'adaptation doit être mise en œuvre. Il serait plus urgent de s'attaquer aux menaces ou aux possibilités prioritaires qui se produisent dans les conditions climatiques actuelles que de prendre des mesures visant les menaces ou les possibilités qui ne sont attendues que dans les conditions climatiques futures prévues. Les adaptations qui ciblent les menaces et les possibilités futures et qui peuvent avoir un effet sur les décisions à court terme ayant une longue durée de vie, comme l'aménagement du territoire et les choix d'infrastructure en vigueur, devraient également être traitées avec plus d'urgence.</p>	Donner la priorité aux mesures qui traitent des risques liés aux conditions climatiques actuelles ou qui intègrent les considérations d'adaptation dans les décisions à court terme et de longue durée.
	<p>Robustesse statique</p> <p>Le degré d'efficacité d'une mesure pour réaliser les objectifs du décideur, sur une gamme de scénarios d'émissions et de scénarios socio-économiques plausibles. Ce critère est le plus pertinent pour les décisions à court terme et de longue durée.</p>	Donner la priorité aux mesures qui réduisent la vulnérabilité à l'éventail le plus large possible de conditions climatiques et socio-économiques futures.
	<p>Robustesse dynamique (flexibilité)</p> <p>Des mesures ajustables qui peuvent être mises en œuvre graduellement et adaptées facilement si les conditions climatiques et socio-économiques futures changent ou se révèlent différentes de ce qui est prévu aujourd'hui. Ce critère est également particulièrement pertinent pour les décisions à court terme qui ont une longue durée de vie.</p>	Donner la priorité aux mesures qui sont facilement adaptables aux conditions climatiques et socio-économiques changeantes et dont les coûts de transition sont minimales.

Source : Weiland and Tröltzsch, 2015; PROVIA, 2013

6.6.3 Outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie

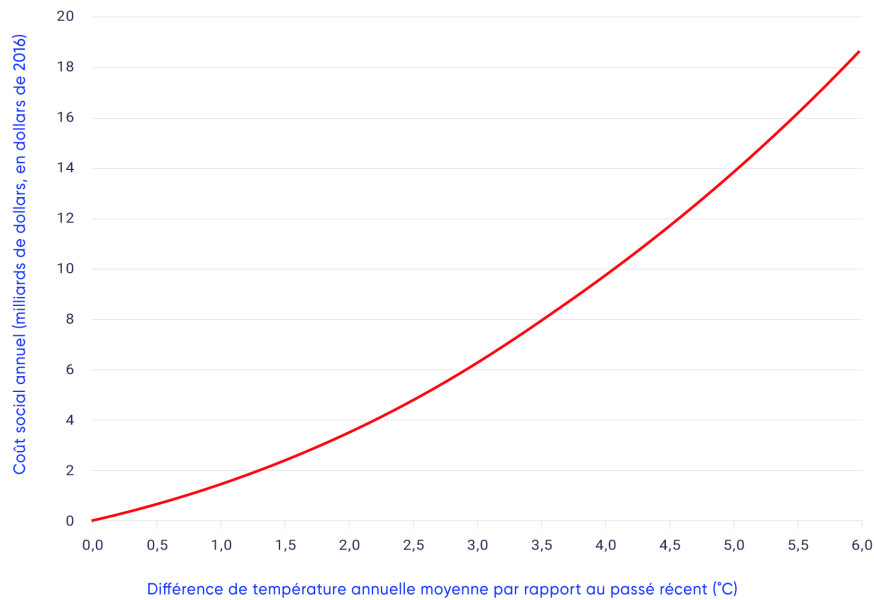
Il existe de multiples méthodes pour évaluer les mesures d'adaptation. La technique analytique standard utilisée pour l'évaluation économique des politiques, programmes et projets est l'ACA (voir la figure 6.9). L'ACA est une méthode d'évaluation économique appropriée lorsque l'objectif de l'adaptation est de réduire au minimum les coûts économiques d'une menace liée aux changements climatiques ou d'optimiser les avantages économiques d'une possibilité liée aux changements climatiques. Dans certains contextes décisionnels, cependant, l'objectif d'adaptation pourrait être d'atteindre un niveau donné de réduction des risques ou de neutraliser tous les impacts négatifs liés aux changements climatiques (c.-à-d. de maintenir les conditions de la période de référence) (Chambwera et coll., 2014). Dans ce contexte, l'autre grande méthode d'évaluation économique, l'ACE, pourrait être utilisée pour déterminer la mesure ou le portefeuille de mesures nécessaires pour atteindre cet objectif au moindre coût ou au plus haut niveau de réduction des risques pour un budget fixe d'investissement.

Une troisième méthode traditionnelle qui peut être utilisée pour évaluer les mesures d'adaptation est l'analyse décisionnelle multicritères. Bien qu'il ne s'agisse pas techniquement d'un outil d'évaluation économique, il peut intégrer des informations financières sur les coûts et les avantages dans le calcul de la décision, parallèlement à une série d'autres critères de décision. Un décideur peut vouloir utiliser l'analyse décisionnelle multicritères lorsque l'efficacité économique n'est pas le seul critère de décision intéressant ou lorsque d'importants intrants ou résultats de la mesure d'adaptation ne peuvent être évalués en termes de coûts. Compte tenu des multiples critères désormais pris en compte lors de la prise de décisions en matière d'adaptation, l'accent est de plus en plus mis sur de tels outils d'évaluation « multi-métriques » à l'appui des décisions à prendre (voir le tableau 6.4; Chambwera et coll., 2014)⁴. Toutefois, dans la littérature disponible, seule l'ACA a été appliquée au Canada (voir la section 6.7).

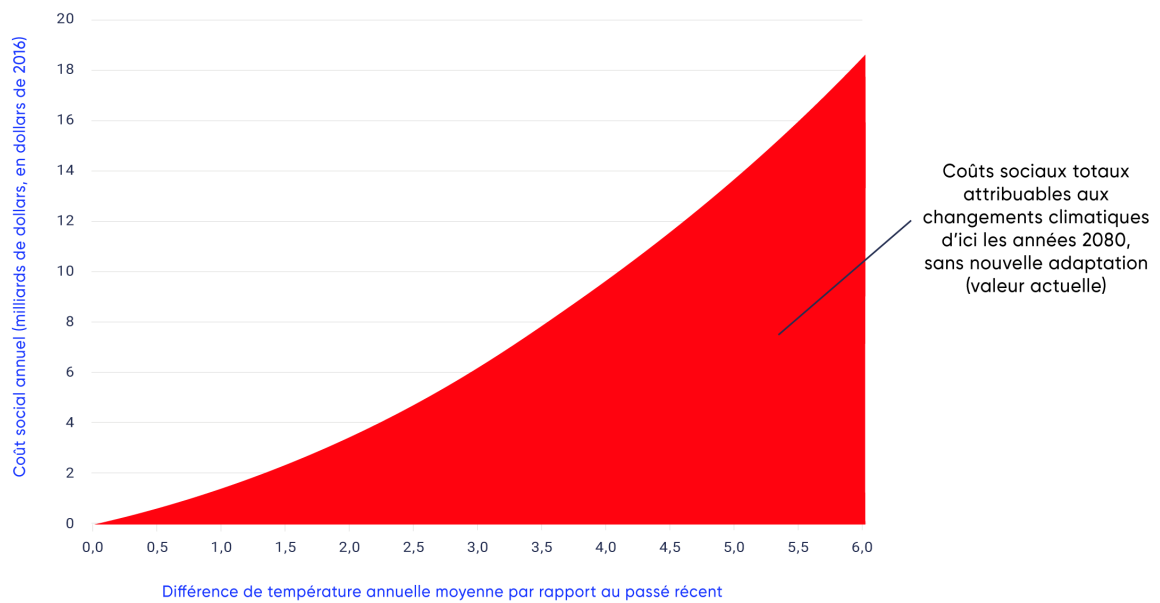
4 Les lecteurs intéressés peuvent accéder à plusieurs lignes directrices axées sur l'évaluation économique des mesures d'adaptation, telles que celles de la Banque asiatique de développement (2015); Meyer et al. (2015); Boyd et al. (2013); PROVIA (2013); USAID (2013); Economics of Climate Adaptation (2009) et Metroeconomica (2004). D'autres ressources fournissent des conseils particuliers pour aider au choix des méthodes d'évaluation économique (p. ex. Tröltzsch et al., 2016; Watkiss et al., 2015a Swart et Singh, 2013 et Watkiss et Hunt, 2013).



a)



b)



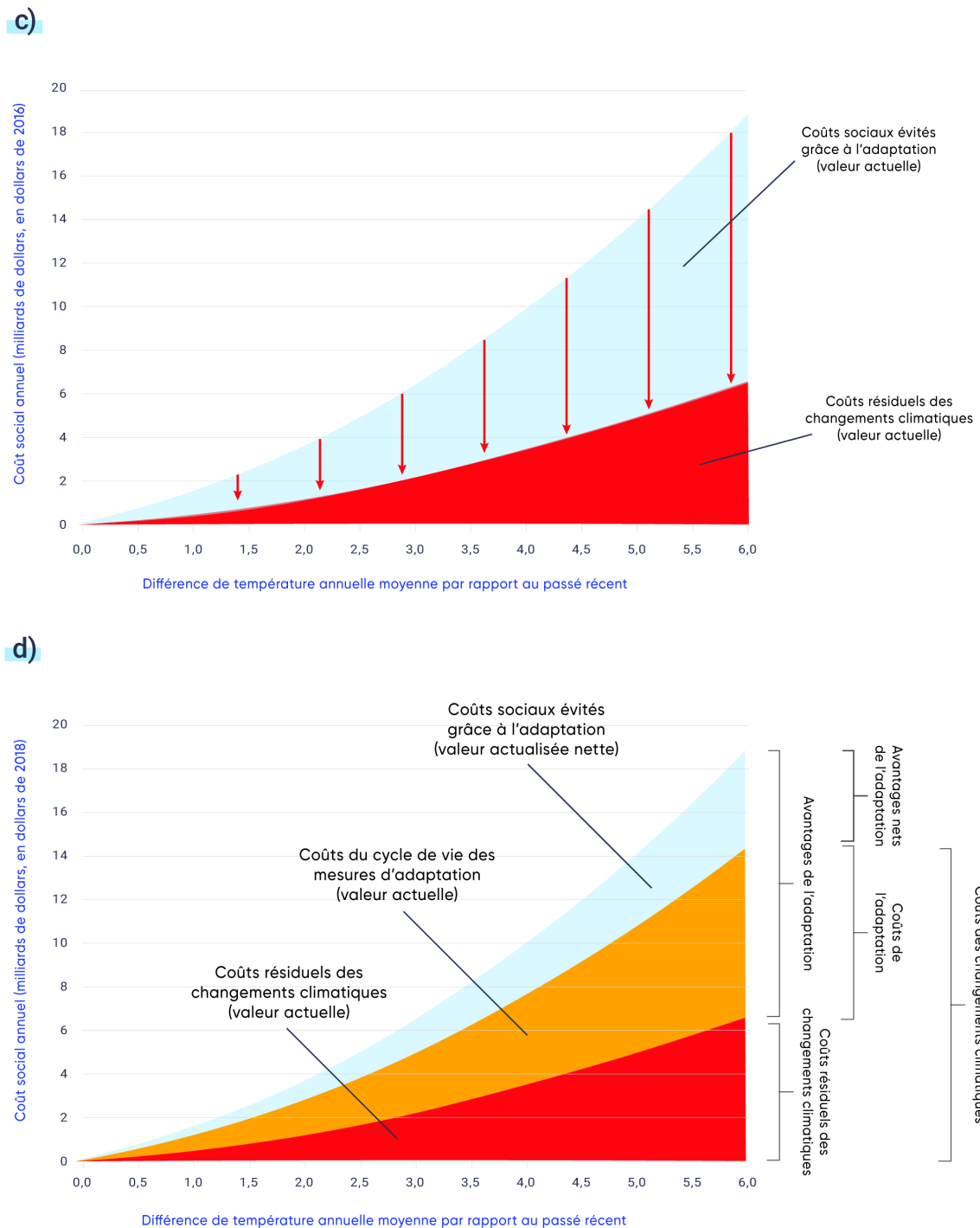


Figure 6.9 : Cette représentation stylisée des avantages, des coûts et des dommages résiduels de l'adaptation en valeur actualisée (en dollars de 2016) suppose que les objectifs des décideurs sont les suivants : réduire les impacts négatifs et réduire au minimum le coût total des changements climatiques. a) Scénario de référence prévu (fonction de dommages estimée avec les changements climatiques); b) Coûts sociaux estimés en valeur actualisée des changements climatiques dans le cadre du scénario de référence sans nouvelles mesures d'adaptation; c) Réduction estimée des coûts sociaux prévus avec de nouvelles mesures d'adaptation (c.-à-d. qu'elle définit les avantages en valeur actualisée de l'adaptation); d) Avantages nets estimés des mesures d'adaptation, une fois les coûts du cycle de vie des mesures pris en compte. Source : Adapté de Metroeconomica, 2004, et basé sur la fonction de dommages du coût social pour la Ville d'Edmonton dans Boyd, 2018.

Tableau 6.4 : Méthodes d'évaluation économique couramment utilisées à l'appui des décisions en matière d'adaptation

OUTIL	RÉSUMÉ	INCERTITUDE	MESURE DES AVANTAGES	COMPLEXITÉ
Analyse coûts-avantages (ACA)	Cette méthode évalue les options en fonction de leur valeur monétaire, en soupesant les coûts du cycle de vie des options par rapport aux avantages prévus (p. ex. Boyer-Villemare et coll., 2016). L'option dont la valeur actualisée nette ou le rapport avantages-coûts est le plus élevé est sélectionnée. L'ACA nécessite la mise en place d'une situation de référence par rapport à laquelle les coûts et les avantages futurs anticipés seront mesurés. Cela représente un défi, car il faut prévoir le comportement d'adaptation autonome des individus et des organisations en l'absence de l'option en question.	Ne traite pas explicitement des incertitudes, mais peut être combiné avec des informations probabilistes pour générer des valeurs attendues.	Données économiques (dollars)	Moyenne

OUTIL	RÉSUMÉ	INCERTITUDE	MESURE DES AVANTAGES	COMPLEXITÉ
Analyse coût-efficacité (ACE)	<p>Cette méthode permet de déterminer l'option la plus efficace d'un point de vue économique pour atteindre un objectif d'adaptation particulier (p. ex. Boyd et Walton, 2006) : par exemple, savoir laquelle de plusieurs options atténue le risque de pénurie d'eau au coût le plus bas, ou quelle proportion du risque peut être atténuée pour une dépense donnée. L'ACE est utile lorsque la principale mesure des avantages ne peut être exprimée en valeur monétaire. Cependant, comme elle ne peut être utilisée que pour comparer les options en fonction d'une seule mesure des avantages (p. ex. des mètres cubes d'eau), il n'est généralement pas possible d'évaluer les options qui traitent des impacts dans différents secteurs qui n'ont pas une mesure commune des avantages. Tout comme l'ACA, cette méthode nécessite la mise en place d'une situation de référence. Contrairement à l'ACA, elle ne peut pas déterminer si une option « vaut la peine d'être mise en œuvre ». Le principe de base de l'application de l'ACE est qu'une décision a déjà été prise et que le résultat à atteindre a déjà été justifié comme « méritant » d'être poursuivi.</p>	<p>Ne traite pas explicitement des incertitudes, mais peut être combiné avec des informations probabilistes pour générer des valeurs attendues.</p>	<p>Données quantitatives</p>	<p>Moyenne</p>

OUTIL	RÉSUMÉ	INCERTITUDE	MESURE DES AVANTAGES	COMPLEXITÉ
Analyse décisionnelle multicritères	Cette méthode utilise plusieurs indicateurs, en plus de l'efficacité économique, pour évaluer les options d'adaptation en fonction de la réalisation d'objectifs d'adaptation déterminés (p. ex. de Bruin et coll., 2009b). L'analyse décisionnelle multicritères est utile lorsqu'il est difficile d'attribuer des valeurs monétaires à un ou plusieurs résultats importants, ou lorsqu'il est tout simplement impossible de quantifier certains résultats, car les informations qualitatives et quantitatives peuvent être combinées. Tout comme l'ACA, cette méthode nécessite la mise en place d'une situation de référence.	Peut intégrer l'incertitude comme critère d'évaluation, en s'appuyant généralement sur le jugement subjectif des experts ou des intervenants.	Économique, quantitative ou qualitative	Faible à moyenne

Sources : Rouillard et coll., 2016a; Watkiss et coll., 2015a; Boyd et coll., 2013; PROVIA, 2013; Watkiss et Hunt, 2013.

6.6.4 Principaux défis méthodologiques

Les principaux défis méthodologiques liés à l'évaluation économique des mesures d'adaptation comprennent la manière de traiter l'incertitude dans l'évaluation économique, les choix d'actualisation et les considérations relatives à la répartition. En raison de ces défis, les auteurs se montrent sceptiques quant au fait de s'appuyer principalement sur les outils d'évaluation économique traditionnels pour classer les mesures d'adaptation (p. ex. Dennig, 2018; Lempert, 2014; Li et al, 2014).

6.6.4.1 Traitement de l'incertitude profonde

Lors de l'évaluation des mesures d'adaptation, les incertitudes liées aux changements climatiques proviennent à la fois de la modélisation climatique et des aspects socio-économiques (voir la figure 6.10). Ces éléments s'ajoutent aux incertitudes habituelles concernant les coûts et l'efficacité des mesures, qui sont présentes dans toutes les évaluations économiques. Le point de départ est l'évolution inconnue des futures émissions de GES, qui alimentent les projections climatiques par des modèles climatiques. La spécification

des relations entre les émissions prévues et les changements prévus dans le climat mondial est sujette à l'incertitude, et les différents modèles résolvent cette question de différentes manières. La plupart des modèles fournissent des projections à une échelle trop large pour servir à évaluer les mesures au niveau local, où l'adaptation a généralement lieu. Une certaine réduction d'échelle doit être effectuée, ce qui engendre des incertitudes supplémentaires. En outre, l'incertitude découle des scénarios socio-économiques, qui fournissent une gamme d'estimations pour les populations à risque dans différents endroits, et tiennent également compte du statut socio-économique et de la richesse. Ces scénarios sont liés aux émissions de GES, car ces dernières influenceront en partie les niveaux de vie futurs, et aussi parce que les différentes voies de développement influenceront la quantité d'émissions de GES. Ces éléments sont cependant hautement incertains, en particulier sur les périodes de temps que la plupart des analyses doivent prendre en compte. Enfin, il existe des incertitudes quant à l'efficacité des différentes mesures d'adaptation. Bref, les incertitudes s'accumulent tout au long de la chaîne d'impacts, allant des émissions de GES aux choix d'adaptation (voir la figure 6.2).

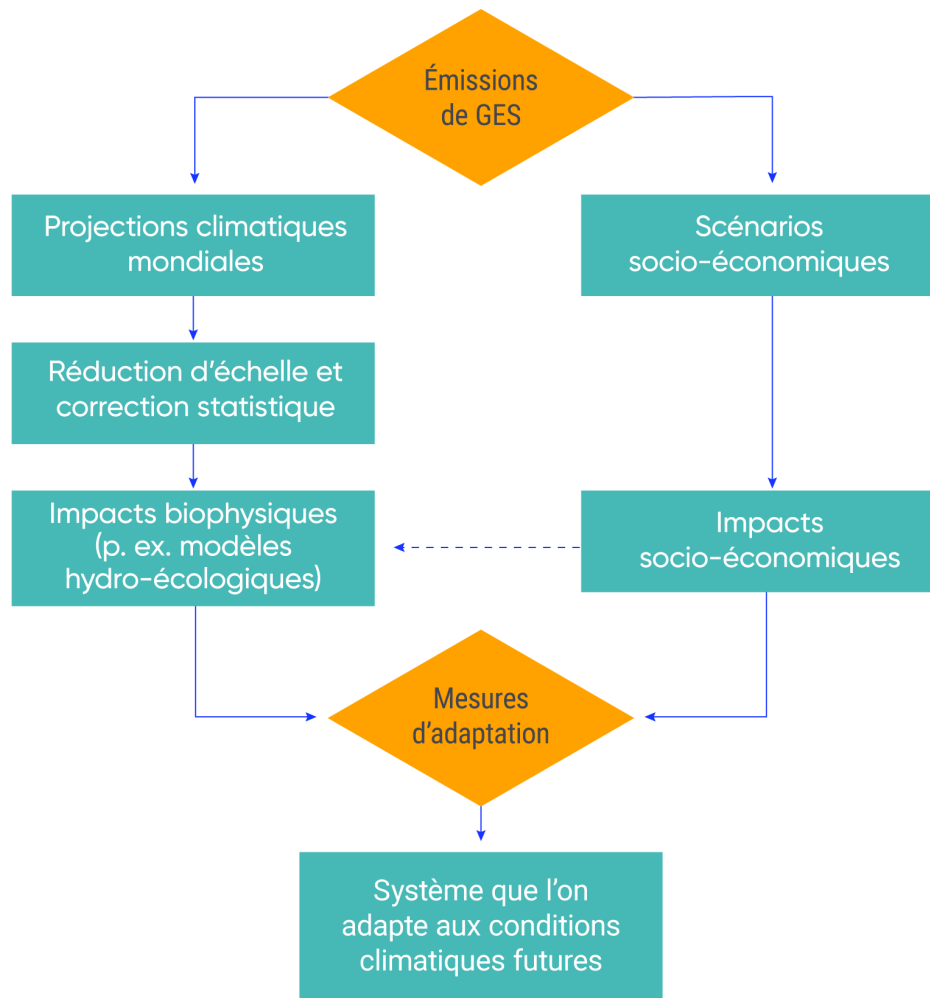


Figure 6.10 : Les éléments structurels impliqués dans l'évaluation des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ces changements. Source : Adapté de Markandya et coll., 2014.

Si l'éventail des résultats possibles peut être représenté par une distribution de probabilité, on peut calculer une valeur attendue. Une « valeur de risque » ou « prime » peut également être calculée, notamment une composante permettant de tenir compte de l'existence d'une gamme de résultats possibles. Les méthodes à cet effet sont bien établies (p. ex. Ranger et coll., 2010). Le problème est que ces distributions de probabilité sont rarement disponibles et qu'il est souvent impossible de calculer la valeur de risque. Lorsque les probabilités ne sont pas disponibles, la pratique traditionnelle est d'entreprendre une analyse de sensibilité, qui consiste à utiliser différents scénarios pour identifier la robustesse de la mesure d'adaptation choisie par rapport aux incertitudes dominantes.

Si bon nombre des incertitudes décrites ci-dessus sont réductibles, il y a peu de chance qu'elles soient résolues dans un délai utile pour des décisions précoces en matière d'adaptation (Fankhauser, 2017). Par conséquent, les chercheurs ont mis au point un ensemble d'outils heuristiques (p. ex. Hallegatte et coll., 2012) et d'outils d'évaluation (p. ex. Bloemen et coll., 2018; Dittrich, et coll., 2016; Watkiss et coll., 2015a; Lempert, 2014; Walker et coll., 2013) pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation en présence d'une incertitude profonde (c.-à-d. une incertitude qui ne peut être quantifiée par des probabilités) (Weaver et coll., 2013). Les principales approches permettant de prendre en compte l'incertitude dans l'évaluation économique des mesures d'adaptation sont l'analyse des options réelles, les voies d'adaptation, la prise de décisions solides et l'analyse de portefeuille. Voir le tableau 6.5 pour une brève description de chaque outil, la manière dont chacun traite l'incertitude et mesure les avantages, les demandes en ressources imposées aux utilisateurs et un exemple d'application.

Tableau 6.5 : Méthodes d'évaluation économique pour l'aide à la prise de décisions en matière d'adaptation en situation d'incertitude

DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Prise de décisions solides				
Utilise des modèles quantitatifs ou des générateurs de scénarios pour évaluer comment différentes options d'adaptation se comportent dans le cadre de grands ensembles de scénarios, chacun reflétant différentes conditions futures plausibles (à la fois climatiques et socio-économiques). L'objectif est de dégager des options qui sont solides pour de nombreux futurs différents (c.-à-d. des options qui ne sont pas nécessairement « optimales », mais « suffisamment bonnes » et qui réduisent au minimum les résultats négatifs). Cet outil est utile lorsque les incertitudes futures sont mal caractérisées et que les informations probabilistes ne sont pas disponibles.	Intègre explicitement les incertitudes et les risques, en particulier les risques systémiques, afin de trouver des solutions robustes à de multiples conditions futures.	Quantitative ou économique	Moyenne à élevée	Lempert et coll., 2013; Dessai et Hulme, 2007



DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Analyse de portefeuille				
Traditionnellement utilisé pour évaluer les compromis entre le rendement d'un investissement et le risque que représente cet investissement. Dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques, le compromis se situe entre la probabilité d'un haut degré d'efficacité dans la réduction d'une menace et le risque que les options envisagées ne soient pas efficaces dans certaines conditions futures. Cet outil permet d'identifier l'ensemble des options qui, collectivement, sont efficaces dans une gamme de conditions futures plausibles, par opposition à une option qui est optimale pour un seul avenir. Cette méthode est utile lorsqu'il existe de nombreuses options d'adaptation complémentaires pour atteindre un objectif et lorsque de bonnes données sont disponibles. Elle nécessite des informations probabilistes pour calculer la variance des rendements (valeurs actualisées nettes) sur le portefeuille d'options considéré.	Traite explicitement de l'incertitude en examinant la complémentarité d'un ensemble d'options d'adaptation pour faire face aux conditions futures.	Quantitative ou économique	Élevée	Hunt, 2009



DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Analyse des options réelles				
Utilisée pour évaluer explicitement le niveau de flexibilité dans le temps de mise en œuvre d'une ou de plusieurs options d'adaptation (c.-à-d. investir maintenant ou attendre). Elle est également utilisée pour évaluer la possibilité d'ajuster une option d'adaptation au fil du temps, une fois qu'elle a été mise en œuvre (p. ex. en permettant à une option de s'étendre ou d'être restreinte en réaction à des conditions changeantes ou à mesure que de nouvelles informations deviennent disponibles). De cette manière, l'outil révèle s'il est préférable d'investir dans des options qui offrent une plus grande flexibilité dans l'avenir. Elle est utile pour les décisions en matière d'adaptation impliquant des investissements importants, immédiats et irréversibles, lorsqu'il y a une certaine souplesse dans le choix du moment de l'investissement, la possibilité d'obtenir de nouvelles informations et la capacité d'ajuster l'option en fonction des connaissances acquises.	Traite explicitement de l'incertitude en analysant le rendement des options d'adaptation liées à différentes conditions futures potentielles.	Économique	Élevée	Jeuland et Whittington, 2013; van der Pol et coll., 2013; Woodward et coll., 2011

DESCRIPTION	INCERTITUDE	MESURE DE L'AVANTAGE	COMPLEXITÉ	EXEMPLE(S)
Voies d'adaptation				
Utilisé pour rendre opérationnel le critère de flexibilité en caractérisant les options d'adaptation selon : 1) les « points d'inflexion concernant l'adaptation » (c.-à-d. les points dans le temps au-delà desquels les options ne sont plus efficaces); et 2) les autres options d'adaptation disponibles lorsqu'un point d'inflexion a été atteint. Plutôt que de prendre une décision irréversible immédiatement afin de mettre en œuvre une option d'adaptation « optimale », qui peut être nécessaire ou non en fonction de l'évolution des conditions climatiques futures, cet outil encourage les décideurs à adopter un plan flexible, dans lequel les décisions en matière d'adaptation sont prises au fil du temps et le plan est ajusté au fur et à mesure que des informations pertinentes ressortent. Des options supplémentaires peuvent être avancées ou reportées à un moment ultérieur, en fonction des conditions futures. Le principal défi consiste à définir les « points d'inflexion » appropriés et les données à surveiller.	Traite explicitement de l'incertitude en favorisant l'analyse itérative, le suivi, l'évaluation, l'apprentissage et l'ajustement.	Quantitative ou économique	Moyenne à élevée	Voir l'étude de cas 6.4; Rosenzweig et Solecki, 2014; Haasnoot et coll., 2013; Ranger et coll., 2013.

Source : Rouillard et coll., 2016a; Scussolini et coll., 2015; Watkiss et coll., 2015a; Boyd et coll., 2013; PROVIA, 2013; Watkiss et Hunt, 2013.

La méthode d'évaluation la plus appropriée dépend du contexte décisionnel et du niveau d'incertitude (Chambwera et coll., 2014). Le choix d'un outil d'évaluation économique pourrait lui-même être considéré comme un problème décisionnel. Par exemple, dans les contextes décisionnels où l'incertitude est moins préoccupante (on connaît peut-être les probabilités pertinentes) et où les mesures d'adaptation sont à court terme (c.-à-d. des mesures à faible regret ou sans regret pour faire face aux risques liés aux changements

climatiques actuels), il peut être possible d'appliquer les méthodes traditionnelles d'ACA ou d'ACE. Cependant, lorsque les incertitudes sont plus profondes, et lorsqu'il s'agit de faire des choix parmi une série de mesures complémentaires pour atteindre le même objectif d'adaptation, l'analyse de portefeuille peut être utilisée pour aider les décideurs à évaluer les compromis entre les avantages et le risque d'une mesure, ce qui permet de formuler un portefeuille de mesures offrant le meilleur équilibre entre le risque et le rendement. Lorsqu'il est prévu que les incertitudes diminuent avec le temps et que les mesures individuelles ou une stratégie d'adaptation présentent un certain degré de flexibilité, les approches qui soutiennent la prise de décisions itératives seront plus appropriées (telles que l'analyse des options réelles et les voies d'adaptation). Ces approches encouragent les décideurs à élaborer des plans flexibles dans lesquels les décisions les plus efficaces en matière d'adaptation sont prises de manière séquentielle au fil du temps, au fur et à mesure de l'obtention de données probantes sur l'évolution des conditions futures. S'il y a peu de chances que les incertitudes soient résolues, c'est-à-dire si des décisions doivent être prises à court terme concernant des mesures d'adaptation à long terme, la prise de décisions solides fournira un soutien approprié, en aidant à recenser les mesures d'adaptation qui permettront d'atteindre les objectifs du décideur dans une série de scénarios différents.

Si les méthodes d'évaluation économique ci-dessus ont été présentées individuellement, elles ne s'excluent pas mutuellement. Tous les outils disponibles pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation dans des conditions d'incertitude fournissent essentiellement un cadre alternatif pour l'application de l'ACA, de l'ACE, de l'analyse décisionnelle multicritères ou d'une combinaison de celles-ci. C'est ce que démontre l'étude de cas 6.4, où l'ACA et l'analyse décisionnelle multicritères sont intégrées dans une approche des voies d'adaptation pour la gestion des inondations de la Tamise à Londres, au Royaume-Uni.

Étude de cas 6.4 : Gestion de l'incertitude dans l'évaluation des options d'adaptation pour faire face à l'élévation du niveau de la mer à Londres, au Royaume-Uni

La barrière de la Tamise est une structure mobile qui s'étend sur environ 500 mètres sur la Tamise, à l'est de Londres. Elle fait partie d'un système global de gestion des inondations, comprenant 36 vannes industrielles et plus de 330 km de digues et de remblais qui protègent Londres des ondes de tempête en provenance de la mer du Nord. La barrière a été conçue pour durer jusqu'en 2030 et pour assurer un niveau de protection élevé (équivalent à un événement survenant une fois tous les 1 000 ans). L'objectif du projet Thames Estuary 2100 (TE2100) était d'élaborer un plan stratégique de gestion des risques d'inondation pour Londres qui serait en place jusqu'à la fin du XXI^e siècle.

En raison de la profonde incertitude entourant les futurs niveaux d'eau extrêmes dans l'estuaire en raison des changements climatiques et de la nature à long terme des décisions impliquées, ainsi que des coûts irréversibles élevés, le projet TE2100 a utilisé une approche basée sur les voies d'adaptation. Cette méthode intègre la robustesse dynamique (flexibilité) aux incertitudes climatiques et non climatiques dans la stratégie d'adaptation elle-même, de sorte que la stratégie s'adapte au climat au fil du temps, mais en laissant les

mesures individuelles ouvertes pour faire face à toute la gamme des avenir plausibles. Quatre ensembles potentiels de mesures d'adaptation, appelés « options de haut niveau » (high-level option [HLO] 1, 2, 3a et 3b, et 4), ont été élaborés par le projet TE2100 (voir la figure 6.11). Chaque option HLO consiste en une trajectoire à travers le siècle qui peut être adaptée au taux de changement de l'élévation du niveau de la mer observée. Par exemple, une élévation du niveau de la mer de 20 à 30 cm nécessiterait, dans le cadre de l'option HLO1, d'améliorer et de rehausser les petits murs et les remblais sur la Tamise afin de prolonger leur vie utile. Si le niveau de la mer augmentait de 60 à 70 cm, la barrière existante serait tournée de façon excessive et une protection provisoire (mur élevé) en amont de la barrière serait restaurée. Toutefois, si le niveau de la mer augmentait de 80 à 90 cm, il faudrait améliorer la barrière existante et élever les défenses en aval. Dans l'ensemble, l'option HLO1 offre une protection jusqu'à environ 2,3 m d'élévation du niveau de la mer, ce qui correspond à la projection actuelle « la plus probable » de l'élévation du niveau de la mer ayant une incidence sur les niveaux d'eau extrêmes de la Tamise. La construction d'un nouveau barrage serait le point culminant de l'option HLO4, qui assurerait une protection contre la projection actuelle de l'élévation du niveau de la mer dans le « pire des cas » (4,3 m).

Il serait toutefois risqué de choisir une voie sur la base des projections disponibles aujourd'hui, car le choix actuel de la voie d'adaptation est extrêmement sensible aux projections de l'élévation moyenne du niveau de la mer et des ondes de tempête, qui demeurent très incertaines. Le risque de mauvaise adaptation serait élevé. Par conséquent, les options HLO sont conçues pour être flexibles et il est possible de passer d'une option HLO à un autre en fonction du taux d'élévation du niveau de la mer observé.

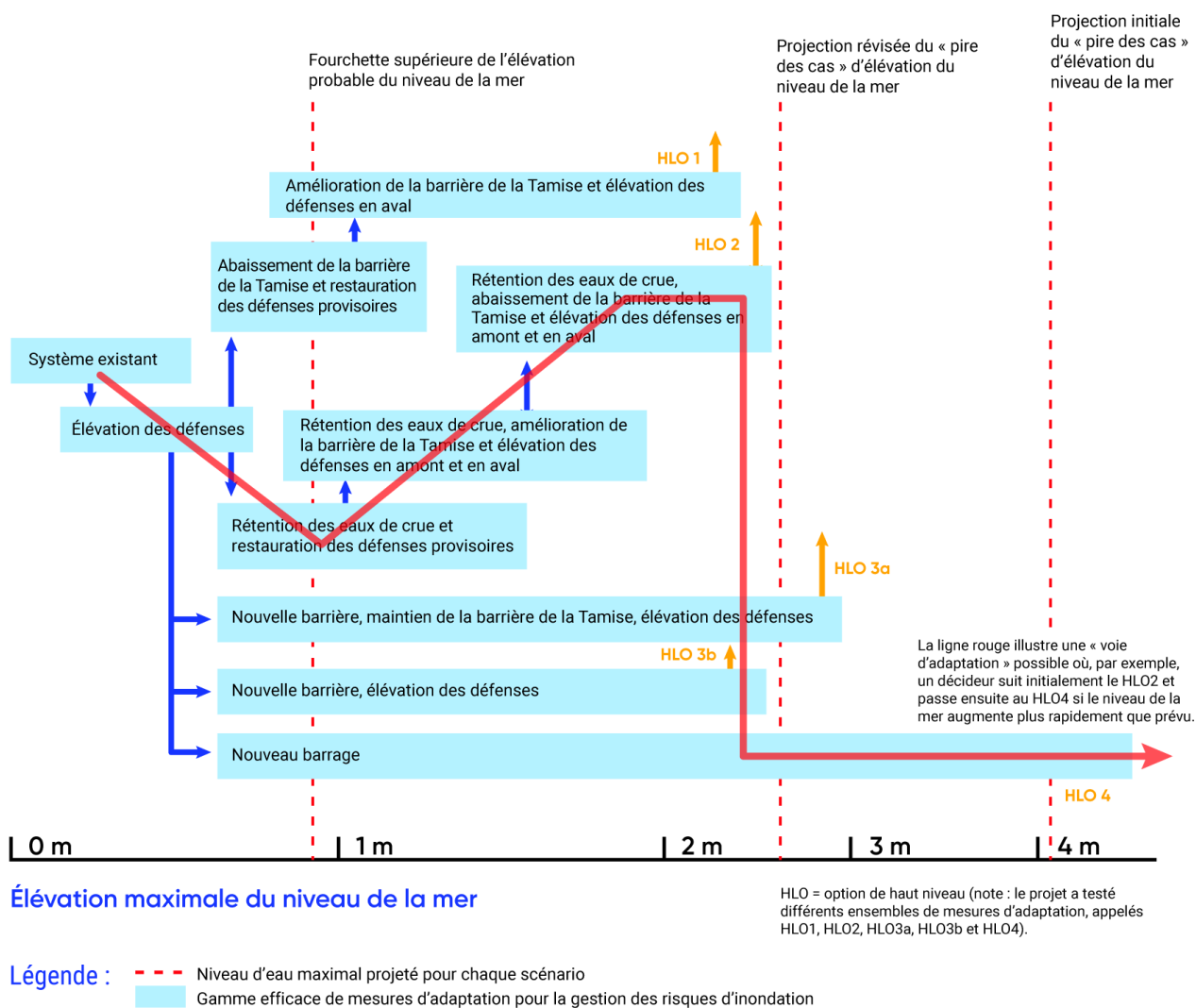


Figure 6.11 : Voies d'adaptation mises au point par le projet Thames Estuary 2100 au Royaume-Uni pour faire face à l'élévation future du niveau de la mer. Cela comprend quatre ensembles d'options en matière d'adaptation, appelés « options de haut niveau » (HLO), pour faire face à différentes élévations possibles du niveau de la mer. Source : Adapté de Ranger et al., 2013 avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH.

L'approche des voies d'adaptation repose essentiellement sur la nécessité de définir des « points de décision » avant qu'un impact des changements climatiques ne se produise (c.-à-d. de déterminer les moments futurs où les décideurs devront choisir une option de nature plus irréversible, ainsi que de définir les informations nécessaires pour éclairer cette décision). Pour chaque mesure d'adaptation, le projet TE2100 a évalué les éléments suivants (voir la figure 6.12) : le seuil clé à partir duquel cette mesure serait nécessaire (p. ex. des niveaux d'eau extrêmes), le délai nécessaire pour mettre en œuvre la mesure et le point de décision estimé pour déclencher une décision concernant la mise en œuvre (p. ex. en fonction de l'atteinte d'une valeur déterminée pour un des indicateurs, comme des niveaux d'eau extrêmes observés, tenant compte d'une marge d'incertitude).

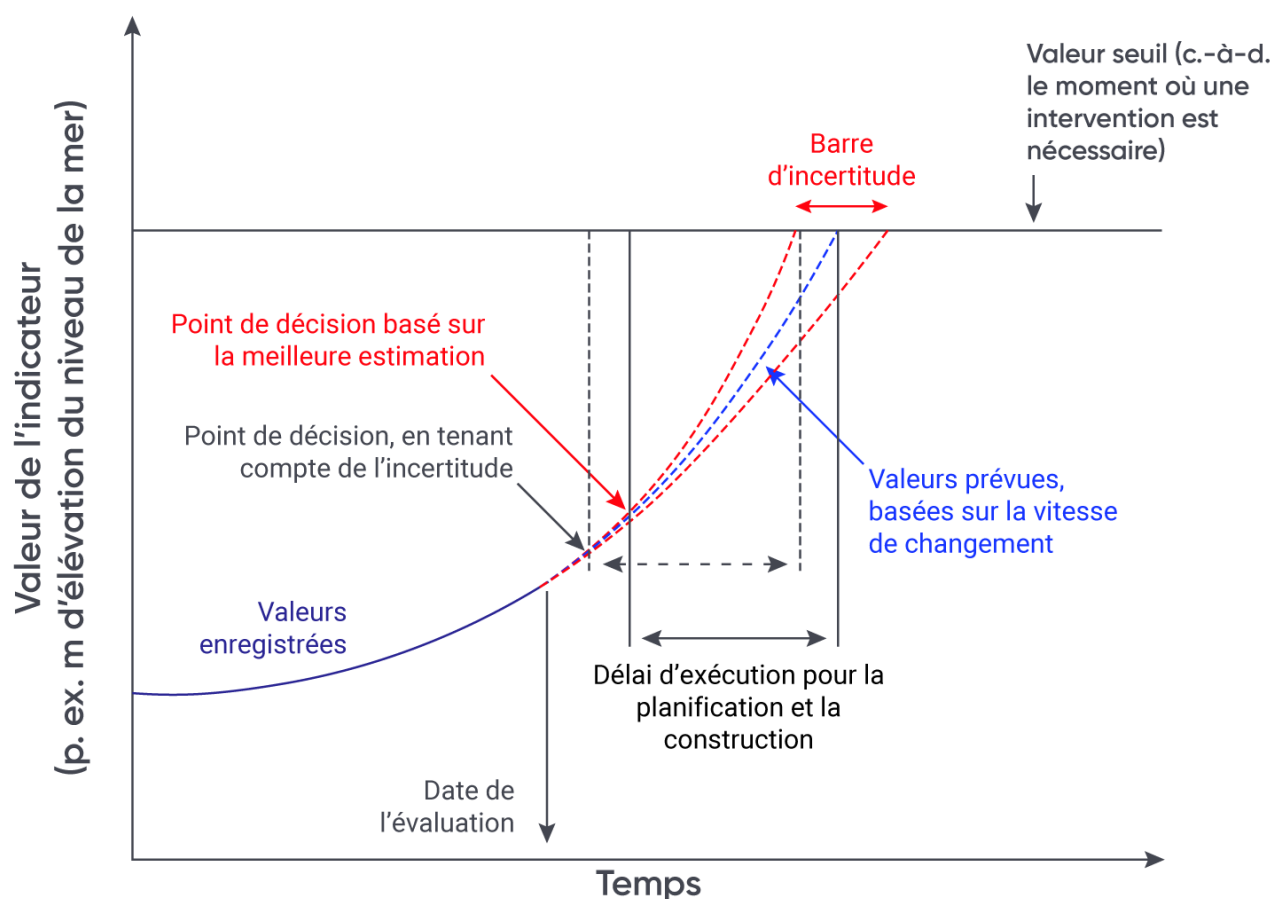


Figure 6.12 : Illustration des seuils, des délais d'exécution et des points de décision en matière d'adaptation dans le cadre du projet Thames Estuary 2100 au Royaume-Uni. Source : Adapté de Ranger et coll., 2013, avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH.

Chaque option HLO ainsi que les mesures individuelles connexes ont fait l'objet d'une évaluation formelle des options économiques, en utilisant une combinaison d'ACA et d'analyse décisionnelle multicritères. L'évaluation a porté sur une gamme d'impacts facilement monétisables (p. ex. dommages matériels, risques pour la vie, perte de terres agricoles) et non monétisables (p. ex. qualité et quantité de l'eau, loisirs, habitat et biodiversité, sentiment d'appartenance à la collectivité). Sur la base des résultats de l'évaluation, l'amélioration du système de protection existant – une mesure à faible regret – a été recommandée comme l'approche optimale pour les 60 premières années, de nouvelles options étant requises d'ici 2070 (sur la base des projections actuelles de l'élévation du niveau de la mer) pour 2100 et au-delà. Dans la première itération du plan, qui doit être révisée dans dix ans, les quatre options HLO demeurent ouvertes et envisagées. Toutefois, en raison de la longueur du délai d'exécution pour la construction de certaines des options requises d'ici 2070, une décision sur l'option préférée doit être prise d'ici 2050. Les décideurs disposent ainsi de quarante années supplémentaires pour accumuler des connaissances sur les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer et pour mieux comprendre les incertitudes en jeu avant de s'engager dans des mesures irréversibles et coûteuses. Si la surveillance révèle que les niveaux d'eau extrêmes (ou un autre

indicateur, tel que la fermeture de barrières) augmentent plus rapidement ou plus lentement que prévu selon les projections actuelles, le seuil de décision de 2050 pourra être avancé ou repoussé afin de garantir que les décisions soient prises au bon moment afin de permettre une réponse efficace en matière de coûts. La surveillance des indicateurs clés est importante pour la réussite de l'approche globale.

Deux aspects de l'application des outils traditionnels d'aide à la prise de décisions en matière d'économie en relation avec les changements climatiques ont fait l'objet de nombreux débats critiques : 1) la pratique de l'actualisation des conséquences économiques futures, et 2) l'évaluation égale de toutes les conséquences contemporaines, indépendamment de qui en assume les coûts ou les avantages (Dennig, 2018; Li et coll., 2014).

6.6.4.2 Choix d'actualisation

Les mesures d'adaptation impliquent généralement un investissement initial qui génère un ensemble d'avantages, et parfois de coûts, qui ne se concrétisent pas la même année que l'investissement, mais s'étalent plutôt sur de nombreuses années voire des décennies. La pratique de l'actualisation (c.-à-d. l'attribution de poids aux impacts futurs) a été mise au point pour aider à comparer les coûts et les avantages qui se produisent à différents moments (voir Boyd et coll., 2013 pour un examen plus approfondi de cette question). Les individus agissant seuls, ainsi que les sociétés agissant collectivement, préfèrent avoir quelque chose maintenant plutôt que dans le futur.⁵ En bref, ils donnent plus de poids au présent qu'au futur. La différence entre la valeur d'un dollar aujourd'hui et la valeur d'un dollar dans un an est appelée le taux d'actualisation d'un individu ou d'une société. Ce taux détermine la rapidité avec laquelle les coûts et avantages futurs pondérés diminuent au fil du temps; plus le taux est élevé, moins les coûts et avantages futurs ont d'influence sur les valeurs actuelles. Le taux d'actualisation est indispensable pour déterminer le poids attribué aux impacts économiques futurs (voir l'annexe 6.3 pour plus d'informations sur le processus d'actualisation).

Le choix du taux d'actualisation dans l'analyse des politiques climatiques a fait l'objet de nombreux débats parmi les économistes, bien que ce soit essentiellement dans le contexte de la réduction des émissions de GES (p. ex. Markandya, 2019; Stern, 2008; Nordhaus, 2007). Le débat s'est concentré sur le taux à appliquer et, plus récemment, sur la question de savoir si ce taux devrait être constant dans le temps. En ce qui concerne la première question, il existe une distinction entre l'« approche prescriptive » et l'« approche descriptive » (Arrow et coll., 1996). Le premier, souvent appelée taux d'actualisation social, est basé sur

5 À proprement parler, il existe deux principales justifications pour donner moins de poids aux effets économiques futurs. L'une est basée sur la consommation et l'autre sur l'investissement (Arrow et al., 2012). En ce qui concerne la première, les individus et la société accordent moins de poids à l'avenir par anticipation que les générations futures seront plus riches et que le bien-être qu'elles reçoivent d'une consommation supplémentaire diminuera à mesure que leur niveau de consommation augmentera. En d'autres termes, la société manifeste une préférence temporelle pour la consommation actuelle par rapport à la consommation future. Le raisonnement en matière d'investissement considère que tant que la société peut obtenir un taux positif de retour sur investissement, elle peut investir moins d'un dollar aujourd'hui pour obtenir un dollar de bénéfices dans le futur. Dans le cas présent, le taux d'actualisation correspondrait au rendement d'un investissement. Chaque justification conduit à des taux d'actualisation différents.

le taux qui devrait être appliqué pour des raisons éthiques et politiques, tandis que le second, souvent associé au coût d'option du capital, est basé sur les taux appliqués dans les décisions que les entreprises et les individus prennent dans leur vie quotidienne. Les taux prescriptifs sont généralement inférieurs aux taux descriptifs, mais il existe également des différences importantes quant à ce que devrait être le taux prescriptif parmi les universitaires. Par exemple, dans le débat sur le taux à appliquer pour décider des cibles de réduction des émissions de GES, Stern (2006) préconise un taux d'actualisation social d'environ 1,4 %, tandis que Nordhaus (2007) et Weitzman (2007) présentent des arguments en faveur de taux de l'ordre de 4 à 6 %. En outre, une enquête menée auprès de 197 experts sur les déterminants du taux d'actualisation social a révélé un taux moyen à long terme recommandé de 2,27 % (Drupp et coll., 2015). Il y a eu un désaccord considérable sur la valeur du taux, comme l'indique l'étendue des valeurs recommandées par les différents experts (avec des valeurs allant de 0 à 10 %). Cependant, 92 % des experts étaient à l'aise avec des taux d'actualisation sociaux se situant dans un intervalle de 1 à 3 % (Drupp et coll., 2015). Le taux d'actualisation social officiel pour l'ACA des propositions réglementaires fédérales au Canada, comme recommandé par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (SCT), est de 3 % (SCT, 2018). Ce taux était toujours en vigueur au 1^{er} septembre 2018. Selon le SCT (2007), il est approprié de faire l'essai du taux d'actualisation social lorsqu'« une proposition réglementaire a principalement une incidence sur la consommation privée de biens et de services et que les impacts de la proposition se produisent sur le long terme (50 ans ou plus) ». Néanmoins, même lorsque le taux d'actualisation social est utilisé dans l'ACA, les valeurs actuelles basées sur le coût d'option du capital doivent être présentées.

Les taux descriptifs varient également beaucoup en fonction de la nature de l'investissement, des risques encourus et des autres possibilités d'investissement au pays. De 1976 jusqu'à la publication des lignes directrices sur l'ACA en 2007, le SCT exigeait que les ministères fédéraux utilisent une actualisation annuelle réelle de 10 % (Boardman et coll., 2008), établie à partir des données du marché. Les lignes directrices révisées, qui sont toujours en vigueur aujourd'hui, recommandent un taux d'actualisation de 8 % par an (SCT, 2007, estimé à partir des données du marché par Jenkins et Kuo, 2007)⁶. Ce taux est basé sur le coût d'option pondéré du capital provenant de trois sources : les investisseurs nationaux du secteur privé, les épargnants nationaux du secteur privé et les épargnants étrangers. Il est caractérisé comme une approche descriptive, par opposition au taux d'actualisation « social » prescrit de 3 %.

Sur la question de savoir si un taux d'actualisation devrait être constant dans le temps, la conception s'est progressivement éloignée d'un taux d'actualisation unique constant pour se rapprocher d'un taux d'actualisation qui diminue au fil du temps (Howard et Sylvan, 2015). Cela représente un changement majeur dans la façon de penser, car la détermination du taux d'actualisation telle que décrite ci-dessus suppose que le taux ne change pas au fil du temps, bien qu'il n'y ait aucune raison qu'il en soit ainsi. Plusieurs chercheurs ont présenté des arguments pour expliquer pourquoi le taux d'actualisation devrait diminuer avec le temps. Par exemple, certains résultats semblent indiquer que les individus et les sociétés n'actualisent pas l'avenir à un rythme constant, mais qu'ils adoptent plutôt une trajectoire déclinante ou « hyperbolique » (Gowdy, 2013; Kim et Zauberman, 2009; Settle et Shogren, 2004). Prenons l'exemple suivant : un individu est confronté à deux choix : 1) reporter sa consommation à l'année suivante, et 2) différer d'un an une consommation équivalente de l'année 50 à l'année 51 dans le futur. Alors qu'un report d'un an de la consommation actuelle peut signifier beaucoup pour l'individu, un report d'un an dans 50 ans peut ne pas signifier grand-chose.

6 Certains des postulats utilisés par Jenkins et Kuo (2007) pour arriver au taux de 8 % ont été remis en question par Boardman et al. (2008), qui suggèrent qu'il devrait se situer entre 2,5 et 4,7 %.

L'importance accordée à une année supplémentaire dans le futur diminue avec le temps. Toutefois, la formule standard d'actualisation constante donne la même valeur aux deux formes de report. D'autres arguments, souvent de nature technique, ont été avancés en faveur de la baisse des taux d'actualisation liés à l'incertitude sur l'avenir (p. ex. Epper et coll., 2011; Newell et Pizer, 2003; Sozou, 1998) ou sur le « bon » taux d'actualisation (p. ex. Weitzman, 2001; Azfar, 1998).

Ces travaux ont fourni des arguments convaincants en faveur de l'utilisation de taux d'actualisation décroissants (Arrow et coll., 2014, 2012; Cropper et coll., 2014), en particulier lorsqu'il s'agit de prendre des décisions concernant des investissements ayant une longue durée de vie (c.-à-d. de 30 à 50 ans). Il est toutefois important de maintenir autant de cohérence que possible dans la manière dont les taux d'actualisation sont utilisés. Il convient de noter que le Royaume-Uni et la France ont tous deux adopté des échéanciers de taux d'actualisation décroissants pour l'évaluation économique des investissements publics (voir la figure 6.13). Boardman et coll. (2008) proposent un échéancier de taux d'actualisation social décroissant pour les investissements publics intergénérationnels au Canada dont la durée de vie est supérieure à 50 ans : les coûts et les avantages d'actualisation sont de 3,5 % par an de l'année 0 à l'année 50, de 2,5 % par an de l'année 51 à l'année 100, de 2,0 % par an de l'année 100 à l'année 200 et de 1,5 % par an à partir de l'année 200.

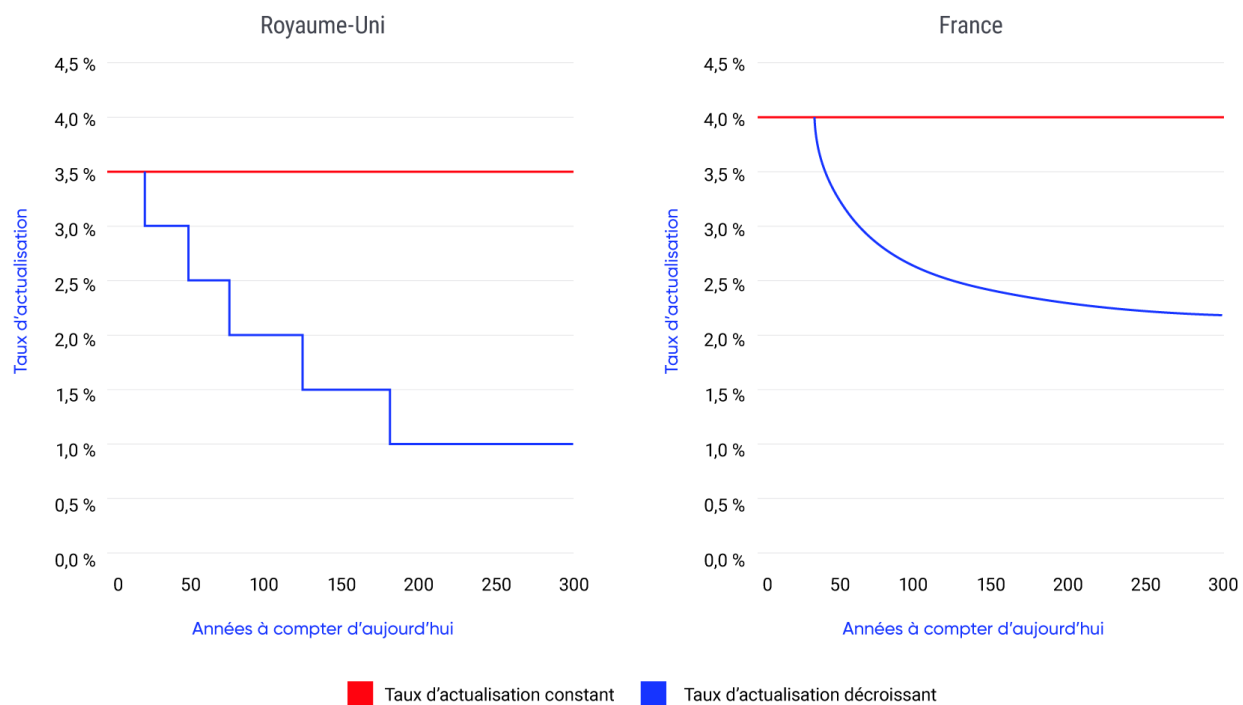


Figure 6.13 : Échéanciers de taux d'actualisation sociaux décroissants en pratique au Royaume-Uni et en France. La ligne rouge continue indique le taux d'actualisation social s'il était supposé constant dans le temps, tandis que la ligne bleue continue indique un échéancier de taux d'actualisation décroissants utilisés pour évaluer les politiques, programmes et projets publics dans chaque pays. L'échéancier du taux d'actualisation social pour le Royaume-Uni diminue par paliers discrets, passant de 3,5 % par an à 1 % par an. En France, le taux

officiel commence à baisser après 30 ans, en suivant une trajectoire hyperbolique. Dans les deux pays, le taux d'actualisation à appliquer aux prestations de l'année 200 est inférieur au taux de l'année 100. En conséquence, un poids plus important est accordé au futur plutôt que d'appliquer un taux d'actualisation constant aux avantages pour toutes les années. Source : Adapté de Damon et coll., 2013.

Parmi les exemples disponibles d'évaluation économique des mesures d'adaptation au Canada (voir l'annexe 6.4), les valeurs actuelles sont déterminées en utilisant un taux d'actualisation de 3 à 4 % par an. Cela implique que les études utilisent un taux d'actualisation social ou « prescriptif ». Le taux d'actualisation est également maintenu constant dans le temps, même sur des horizons temporels de 50 à 100 ans.

Le choix du taux d'actualisation et de l'échéancier n'est peut-être pas un enjeu aussi essentiel pour l'évaluation des investissements d'adaptation que pour des investissements dans les mesures de réduction des émissions de GES. Étant donné l'importance croissante accordée à l'adaptation précoce, ainsi qu'au calendrier et à l'échelonnement des mesures d'adaptation, les horizons temporels des décisions en matière d'adaptation peuvent être relativement courts, ce qui implique généralement des coûts et des avantages répartis sur des décennies plutôt que sur des siècles, comme c'est le cas pour les avantages des projets de réduction des émissions de GES. Pour les mesures d'adaptation de « flux »⁷, les coûts et les avantages s'échelonnent sur la même période. En outre, pour la plupart des décideurs des secteurs public et privé, le taux d'actualisation sera déjà prescrit pour des contextes décisionnels particuliers. Lorsque l'on compare les performances économiques de plusieurs mesures pour atteindre le même objectif d'adaptation qui a été évalué en utilisant différents taux d'actualisation, il est important de comprendre comment les différentes décisions d'actualisation influencent les résultats pour éviter de « comparer des pommes et des poires ».

6.6.4.3 Considérations relatives à la répartition

Lorsqu'il s'agit d'agrèger les coûts et les avantages, l'approche standard a consisté à appliquer un poids égal aux impacts subis par les différents acteurs. Cela peut présenter aux décideurs un ensemble différent de préoccupations en matière de répartition, puisque tous les acteurs potentiellement exposés ne sont pas soumis au même risque. Par exemple, les groupes à faible revenu et défavorisés sont souvent plus vulnérables aux impacts des changements climatiques et ont des capacités d'adaptation réduites. D'un point de vue de politique publique, il est important d'inclure la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation dans la prise de décisions. Le Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada publié par le SCT(2007), qui exige que les ministères fédéraux analysent les coûts et les avantages des règlements proposés, fait explicitement référence à la nécessité d'une analyse de la répartition : « L'analyse de la distribution permet de déterminer l'incidence du projet de règlement sur les intervenants touchés en fonction des catégories suivantes, notamment, mais sans s'y limiter : la taille des entreprises (petites, moyennes et

7 Les mesures d'adaptation de « flux » sont généralement des réponses à faible coût et de courte durée aux impacts des changements climatiques, dont les coûts et les avantages s'échelonnent sur la même période. Elles sont généralement flexibles et peuvent être facilement étendues, réduites ou modifiées. Par exemple, un agriculteur qui choisit de planter de nouvelles cultures résistantes à la chaleur en réponse au réchauffement du climat est un exemple d'adaptation de « flux ». L'agriculteur assumera les coûts des nouvelles semences et en retirera les avantages au cours de la même période (Felgenhauer et Webster, 2014 et de Bruin, 2011).

grandes entreprises), les revenus, l'âge, la région et le genre. Les ministères doivent également : réaliser une analyse de la distribution afin de déterminer comment les coûts et les avantages estimés sont répartis entre les intervenants » (SCT, 2018).

Les mesures d'adaptation ne feraient bien sûr pas exception à une telle exigence. Si les compromis entre la valeur actuelle nette d'une mesure et ses impacts sur la répartition demeurent une considération de nature politique, la littérature comprend une approche qui intègre explicitement les aspects de la répartition dans l'estimation sommaire de la valeur actuelle nette. Elle le fait en pondérant les différents avantages et coûts afin de refléter la valeur pour la société d'un avantage ou d'un coût pour une tranche de revenus donnée par rapport à la moyenne (voir l'annexe 6.5). Cette méthode de traitement des considérations de répartition (p. ex. Alder, 2016), où les avantages ou les coûts estimés sont multipliés par des facteurs de pondération inversement proportionnels au revenu des personnes, remonte aux années 1950 et a été incluse dans les premiers manuels d'ACA (Squire et van der Tak, 1975). Bien que cette méthode ne saisisse pas tous les enjeux de répartition qui pourraient intéresser les décideurs, elle se concentre pourtant sur l'inégalité des revenus.

En pratique, il est rare que des pondérations en matière d'équité soient appliquées dans les analyses économiques traditionnelles (Li et coll., 2014). Aucune des évaluations économiques des mesures d'adaptation au Canada abordées dans la section 6.7 ne tient compte des enjeux de répartition ou de l'utilisation formelle de pondérations en matière d'équité. En général, cependant, on constate un regain d'intérêt pour l'intégration de facteurs d'équité dans l'évaluation économique des impacts des changements climatiques et de l'adaptation à ceux-ci (Dennig, 2018), et l'application de pondérations en matière d'équité est une façon reconnue d'y parvenir (Rouillard et coll., 2016b).

6.7 Les avantages des mesures d'adaptation au Canada compensent les coûts

Les avantages des mesures de planification de l'adaptation aux changements climatiques au Canada dépassent généralement les coûts, parfois de manière importante, ce qui justifie fortement l'analyse de rentabilisation des investissements proactifs dans l'adaptation. Même lorsque des adaptations avantageuses sont adoptées, des coûts de dommages résiduels sont souvent encore engagés, ce qui suggère qu'il existe des limites économiques à l'adaptation.

Les études sur les coûts et les avantages de l'adaptation au Canada ont utilisé l'analyse coûts-avantages (ACA) traditionnelle. Sur un échantillon de 60 mesures d'adaptation visant à remédier à des impacts tels que les inondations côtières, les faibles niveaux d'eau, la réduction de l'approvisionnement en bois, le stress thermique et la mauvaise qualité de l'air, le rapport avantages-coûts moyen était de 5,6:1, avec 75 % des mesures ayant un rapport supérieur à un. Dans l'ensemble de cet échantillon, les mesures d'adaptation douces (p. ex. les changements dans la planification et les pratiques de lutte contre les organismes nuisibles) ont donné de meilleurs résultats que les mesures d'ingénierie dures (p. ex. les digues et les ouvrages longitudinaux). La performance économique

des mesures d'adaptation est également fortement dépendante du site et du contexte. L'adaptation n'annule généralement pas tous les coûts liés aux changements climatiques : un certain niveau de coûts liés aux dommages résiduels est en général encore engagé.

6.7.1 Analyse économique des options en matière d'adaptation au Canada

La littérature sur l'évaluation des coûts et des avantages de l'adaptation au Canada se limite au secteur public et à quelques secteurs sensibles au climat; elle couvre donc un éventail restreint d'impacts des changements climatiques, de régions et de mesures d'adaptation potentielles. Il est donc difficile de formuler des généralisations de grande portée sur les coûts et l'attrait économique des mesures d'adaptation dans tous les contextes. Cette section aborde l'application des méthodes présentées à la section 6.6 dans le contexte canadien.

6.7.1.1 Évaluations économiques de l'adaptation

D'une manière générale, bien que le corpus de données probantes sur les avantages et les coûts des mesures d'adaptation aux changements climatiques ait considérablement augmenté au cours des dernières années, sa portée reste très restreinte en raison des secteurs sensibles au climat pris en compte, de la représentation régionale des études économiques et de l'application des différentes méthodes d'évaluation économique. Près de 75 % des mesures d'adaptation individuelles évaluées concernent l'adoption potentielle de mesures d'adaptation dans les zones côtières pour faire face aux risques d'élévation du niveau de la mer, d'inondation et d'érosion par les ondes de tempête (voir l'étude de cas 6.5). Il convient de noter que, même si toutes les études disponibles effectuent des évaluations prospectives des mesures d'adaptation qui pourraient être mises en œuvre, aucune ne fournit d'évaluations rétrospectives des mesures adoptées. Plusieurs études ont évalué les mesures d'adaptation visant à contrer les impacts négatifs des bas niveaux d'eau sur des enjeux tels que le transport maritime, la production hydroélectrique, les prix des propriétés riveraines, les services écologiques et la pêche dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Les autres études ont procédé à l'évaluation économique des mesures d'adaptation visant à contrer les impacts négatifs des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois dans l'ensemble du Canada, le stress thermique et la qualité de l'air à Toronto, les conditions d'enneigement et la durée de la saison de ski dans des stations au Québec, ainsi que la fonctionnalité d'une route de glace hivernale dans les Territoires du Nord-Ouest.

Il est clair que ces études ne représentent qu'un sous-ensemble des secteurs sensibles au climat au Canada; il existe d'importantes lacunes en matière de données probantes concernant l'évaluation économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques pour des secteurs tels que les transports (ferroviaire, routier et aérien), les ressources en eau (sécurité et qualité de l'eau), l'assainissement, l'énergie (y compris l'électricité), la pêche, l'agriculture, le tourisme, les services écosystémiques et la santé humaine. Il existe également un manque de données probantes sur les avantages et les coûts de l'adaptation planifiée aux impacts sanitaires liés aux changements climatiques, bien que les impacts associés à la santé humaine puissent être parmi les plus importants sur le plan économique. Comme le montre l'étude de Larrivée et coll.

(2015) pour le Québec, la valeur actualisée des coûts totaux de la mortalité prématurée due aux extrêmes de température au cours de la période de 2015 à 2064, mesurée d'un point de vue social, a été estimée à 33 milliards de dollars (en dollars de 2012). Si l'on prend également en compte la maladie de Lyme, le virus du Nil occidental et les aéroallergènes, le coût total en valeur actualisée passe à environ 35 milliards de dollars (voir l'annexe 6.1; Larrivée et coll., 2015).

La concentration des études accessibles sur un ensemble restreint de secteurs signifie que certaines régions du Canada sont bien représentées dans la littérature (p. ex. les zones côtières, en particulier au Québec et au Canada atlantique), tandis que d'autres le sont peu. À l'exception du secteur forestier, il y a d'importantes lacunes en matière de données pour les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon et le Nunavut, l'Ontario, l'intérieur de la Colombie-Britannique et les provinces des Prairies. Bien que l'Alberta ait historiquement connu une part disproportionnée de catastrophes naturelles attribuables aux conditions météorologiques au Canada (voir la section 6.4.2), aucune étude accessible n'a examiné les avantages et les coûts de l'adaptation aux changements climatiques dans la province. Plusieurs études ont réalisé des ACA de mesures visant à réduire les impacts des inondations riveraines (p. ex. IBI Group 2015a, b et c pour la Ville de Calgary), sans toutefois faire référence aux changements climatiques.

Il existe également une pénurie d'études accessibles sur les avantages et les coûts des mesures d'adaptation aux changements climatiques dans les collectivités autochtones. Dans le cadre du Programme d'adaptation aux changements climatiques des Premières Nations mis en place par Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, une méthode a été élaborée pour fournir au personnel du Ministère des conseils sur la façon d'évaluer les répercussions économiques du maintien des obligations du Ministère à l'égard des collectivités autochtones face aux changements climatiques (Girard, 2018). Cette méthode a été utilisée pour évaluer les impacts économiques des mesures d'adaptation dans deux contextes décisionnels différents (Girard, 2018). Le premier a examiné l'impact du réchauffement attendu sur les routes d'hiver, ainsi que les coûts et les avantages de l'adaptation pour le réseau de routes d'hiver du Nord de l'Ontario. Le second a examiné les coûts et les avantages de l'adaptation aux inondations côtières dues à l'élévation du niveau de la mer pour la Première Nation d'Indian Island et la Première Nation d'Eel River Bar, toutes deux au Nouveau-Brunswick. Dans le premier contexte, l'évaluation économique a déterminé que la construction d'un réseau routier toutes saisons pour desservir les collectivités est économiquement inefficace par rapport au statu quo (c.-à-d. les routes d'hiver plus le financement de subventions d'urgence pour le carburant), dans tous les scénarios envisagés. Dans le deuxième contexte, l'évaluation a conclu que l'investissement dans des mesures de réduction des inondations à court terme a généré des avantages qui ont largement dépassé les coûts connexes dans tous les scénarios de protection contre les inondations examinés. Des résultats quantitatifs n'étaient pas disponibles pour ces deux études.

Dans toutes les études résumées dans l'annexe 6.4, l'évaluation des avantages et des coûts de l'adaptation a été réalisée au moyen d'une ACA. Le corpus disponible pour le Canada ne comprend pas d'applications de l'ACE ou de l'analyse décisionnelle multicritères, ni d'applications de nouveaux outils économiques, tels que la prise de décisions solides, l'analyse des options réelles, l'analyse de portefeuille et les voies d'adaptation, pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation dans un contexte d'incertitude.

Étude de cas 6.5 : Évaluation des coûts et des avantages des options en matière d'adaptation pour les zones côtières du Québec et du Canada atlantique

Les localités côtières de l'Est du Canada et du Canada atlantique sont vulnérables à l'érosion et aux inondations. Les risques attribuables à ces dangers devraient augmenter avec les changements climatiques, menaçant les collectivités. Afin d'éclairer l'analyse de rentabilisation de l'investissement dans les mesures d'adaptation, une analyse coûts-avantages (ACA) standard a été utilisée pour évaluer une série de mesures d'adaptation dans 11 sites d'étude de cas (englobant 46 segments côtiers plus petits) au Québec et au Canada atlantique. Ces sites comprennent Percé, Maria, Carleton-sur-Mer, les Îles-de-la-Madeleine et Kamouraska au Québec; l'isthme de Chignecto, qui s'étend du Nouveau-Brunswick à la Nouvelle-Écosse; le havre d'Halifax en Nouvelle-Écosse; la route côtière et le parc provincial de North Cape, ainsi que le port pour petits bateaux et la route de Tracadie à l'Île-du-Prince-Édouard; et Bay Bulls-Witless Bay et Marystown à Terre-Neuve.

L'ACA, comme tous les outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie, compare les coûts et les avantages d'un scénario « avec projet » (c.-à-d. ce qui est attendu à la suite de l'adoption d'une mesure d'adaptation) à ceux d'un scénario « sans projet » (c.-à-d. ce qui est attendu si cette mesure d'adaptation n'est pas adoptée). Dans ce cas, le scénario « sans projet » est donné par les coûts des dommages économiques directs résultant des inondations et de l'érosion côtières projetées avec les changements climatiques sur une période de 50 ans (2015–2064), en supposant qu'il n'y ait aucun changement socio-économique (c.-à-d. aucune croissance démographique et économique) ou des mesures d'adaptation supplémentaires pour chaque site. Les impacts ayant des conséquences économiques commerciales et non commerciales inclus dans l'évaluation sont présentés dans le tableau 6.6; tous les impacts ne sont pas pertinents pour tous les sites d'étude de cas. Le coût des mesures d'adaptation comprenait à la fois les dépenses d'investissement et les coûts d'entretien; les avantages reflétaient les coûts des dommages directs évités en plus de l'équivalent financier des impacts connexes positifs générés.

Un portefeuille d'options d'adaptation adéquates a été élaboré pour chaque site, à partir des catégories d'intervention suivantes :

- Structures d'ingénierie dures (p. ex. murs en béton, digues, pavages rocheux, enrochements, parois en palplanches, ouvrages longitudinaux, épis en T);
- Structures d'ingénierie douces (p. ex. le rechargement des plages avec du sable, seul ou en conjonction avec des épis);
- Options préventives (p. ex. retrait planifié des bâtiments, élévation des bâtiments et des infrastructures, les deux interventions précédentes combinées, fermeture des parcs).

Tableau 6.6 : Coûts et avantages économiques inclus dans l'analyse coûts-avantages des mesures d'adaptation

TYPE DE SOURCE DES COÛTS ET AVANTAGES	COÛTS DÉCOULANT DES IMPACTS NÉGATIFS	AVANTAGES DÉCOULANT DES IMPACTS POSITIFS
Liés à l'érosion	Perte de terres	
	Perte totale ou partielle de bâtiments résidentiels ou commerciaux	
	Perte ou endommagement des infrastructures publiques	
	Évacuation d'urgence	
Liés aux inondations	Dommages causés aux terres	
	Dommages causés aux bâtiments résidentiels ou commerciaux	
	Dommages causés aux infrastructures publiques	
	Évacuation d'urgence	
	Embouteillages ou déviations de la circulation	
	Nettoyage des débris	

TYPE DE SOURCE DES COÛTS ET AVANTAGES	COÛTS DÉCOULANT DES IMPACTS NÉGATIFS	AVANTAGES DÉCOULANT DES IMPACTS POSITIFS
Économiques	Baisse de la valeur des terres	
	Perte de biens et de revenus commerciaux	
	Diminution du commerce	
	Perte de revenus touristiques	Hausse des revenus touristiques
Environnementaux	Perte d'habitats naturels	Amélioration des aires de fraie pour les poissons
	Perte d'aires de fraie pour les poissons	
Sociaux	Perte de vues sur la mer	Amélioration de l'utilisation de la côte à des fins récréatives
	Perte d'accès à la mer	
	Déclin de l'utilisation récréative de la côte	
	Réduction de la qualité de vie (anxiété, insécurité, etc.)	Amélioration de la qualité de vie (sécurité, etc.)
	Dégradation du paysage	Amélioration du paysage
	Détérioration du patrimoine historique et culturel	

Légende:

Coût prévu par le Québec et le Canada atlantique

Coût prévu par le Québec seulement

Avantage prévu par le Québec seulement

Source : Boyer-Villemaire et coll., 2016

Deux mesures de la performance économique ont été générées par cette ACA : 1) la valeur actuelle nette (c.-à-d. les avantages en valeur actuelle moins les coûts en valeur actuelle) et 2) le rapport avantages-coûts (c.-à-d. les avantages en valeur actuelle divisés par les coûts en valeur actuelle). Les valeurs actuelles ont été calculées sur 50 ans (2015–2064) en utilisant un taux d'actualisation constant de 4 % par an (l'analyse de sensibilité a utilisé des taux de 2 % et 4 %). Tous les coûts et avantages sont mesurés en dollars constants de 2012.

Les résultats de l'ACA (voir la figure 6.14) suggèrent que la mise en œuvre des mesures d'adaptation les plus performantes sur chaque segment côtier entraînerait des gains économiques nets (c.-à-d. que la valeur actuelle nette est positive) pour 27 des 46 segments (59 % des cas). Dans ces 27 segments côtiers, l'intervention privilégiée en moyenne ne fait pas intervenir de mesures d'ingénierie dures ou douces, mais plutôt une option préventive, telle qu'un retrait planifié, l'élévation de bâtiments et d'infrastructures ou l'utilisation combinée d'une mesure d'ingénierie et d'une option préventive (voir la figure 6.15). Le large éventail des valeurs actuelles nettes estimées et le nombre de mesures ou de segments d'adaptation entrant dans un groupe de performance particulier dans la figure 6.14 suggèrent que tant la décision d'intervenir que le choix de la mesure d'adaptation ne peuvent être généralisés pour être appliqués ailleurs. L'argument économique en faveur des mesures d'adaptation est fortement influencé par des facteurs propres à chaque site.

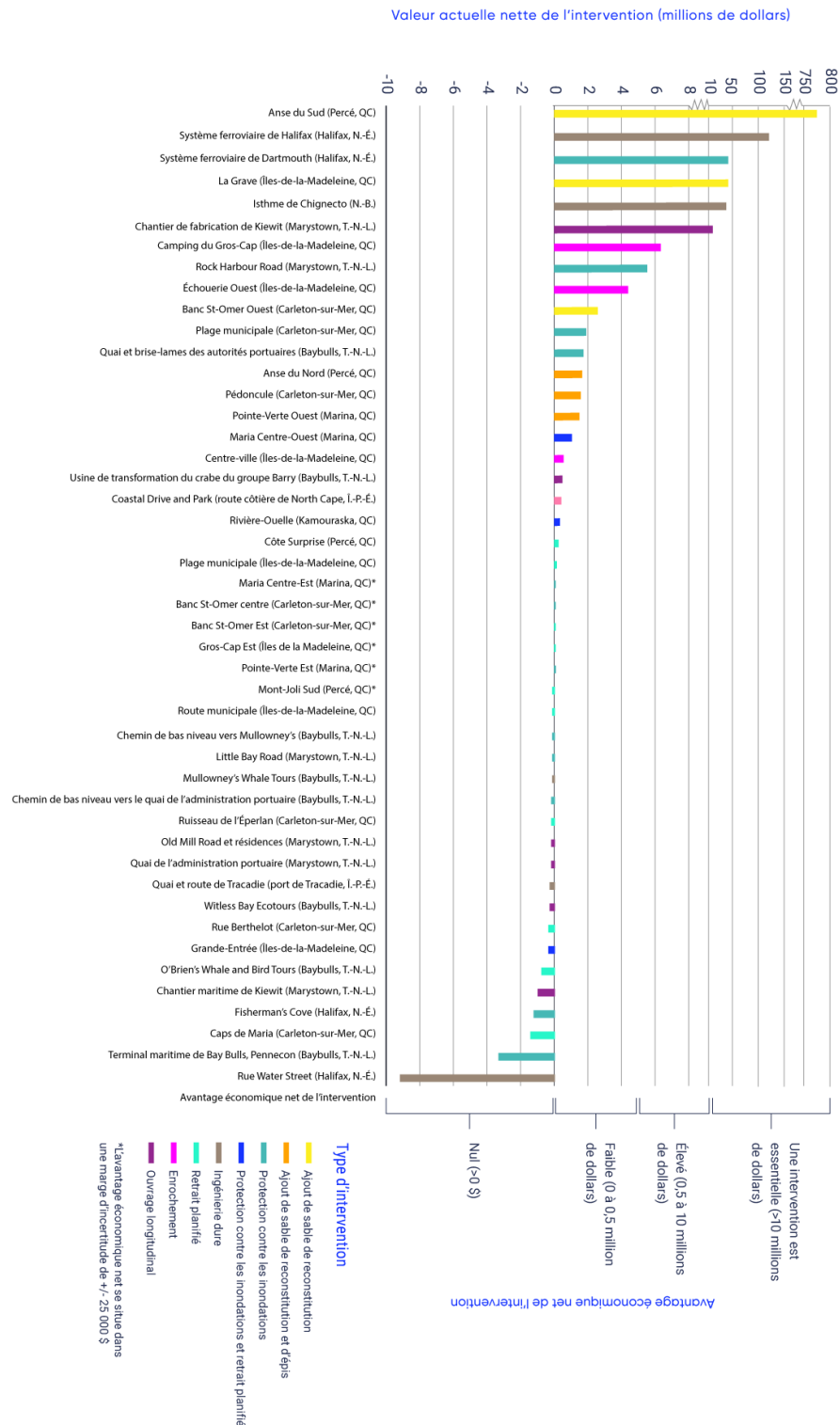


Figure 6.14 : Valeurs actuelles nettes des mesures d'adaptation les plus performantes pour chacun des 46 segments côtiers de 11 sites d'étude de cas au Québec et au Canada atlantique, classés de l'avantage économique élevé (à gauche) à l'avantage économique faible (à droite) de l'intervention. Source : Adapté de Circé et coll., 2016b.

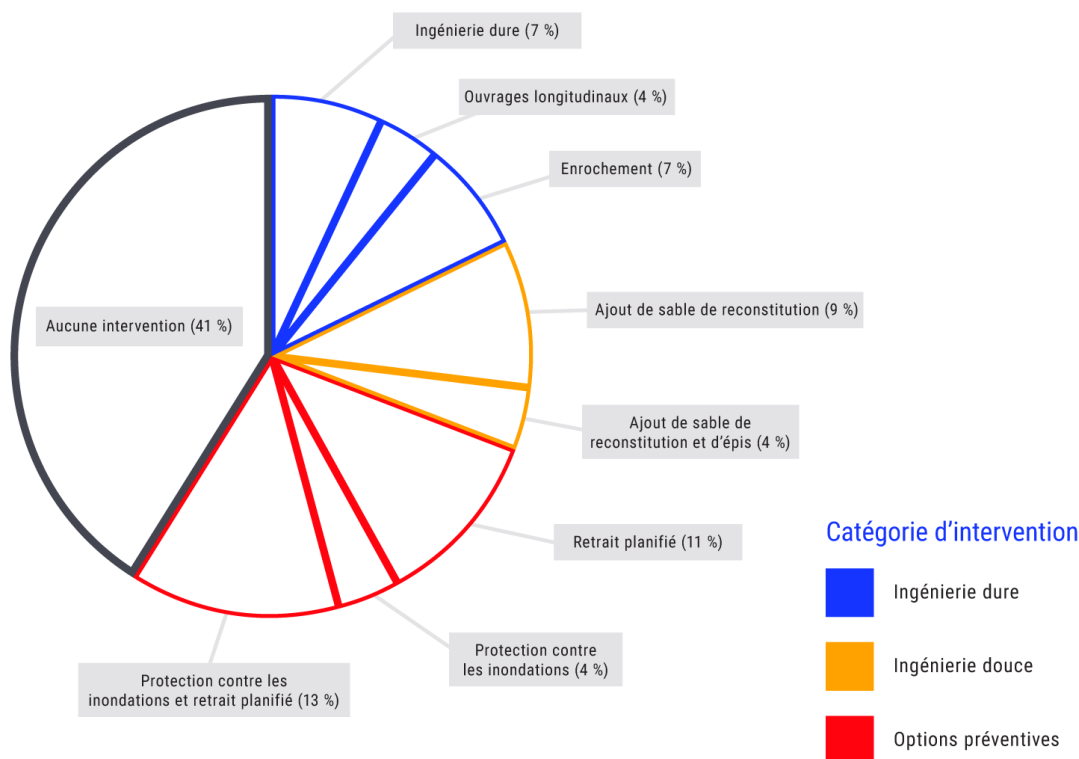


Figure 6.15 : Répartition des mesures d'adaptation les plus performantes par catégorie d'intervention, d'après une analyse coûts-avantages de 46 segments côtiers dans 11 sites d'étude de cas au Québec et au Canada atlantique. Source : Adapté de Boyer-Villemaire et coll., 2016.

Étude de cas 6.6 : Prise en compte des avantages connexes dans l'évaluation économique des mesures d'adaptation pour la rétention d'eau à Pelly's Lake, au Manitoba

Pelly's Lake est un bassin de retenue naturel situé près de Holland, au Manitoba, qui se jette dans la rivière Boyne, un affluent de la rivière Rouge, qui a déjà connu des inondations importantes. Des terres agricoles fertiles entourent le lac, produisant une variété de cultures, dont le canola, le blé de printemps, la luzerne et l'orge. La capacité de stockage d'eau du lac est de 2,1 millions de m³, ce qui en fait une source d'eau importante pour l'irrigation qui permet aux agriculteurs de gérer le risque de précipitations variables avec les changements climatiques. En 2017, des chercheurs de l'Université de la Saskatchewan ont réalisé une évaluation économique des mesures d'adaptation impliquant Pelly's Lake (Moudrak et coll., 2018; Berry et coll., 2017 a, b) avec pour objectif de réduire le stress hydrique des cultures agricoles en soutenant les

opérations d'irrigation pendant les périodes de sécheresse, et ce, selon différents scénarios d'émissions (RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5).

Les changements prévus dans les précipitations et la température (basés sur les valeurs moyennes d'ensemble de quatre modèles de circulation générale à échelle réduite obtenus du Pacific Climate Impacts Consortium) ont été introduits dans un modèle économique intégré « hydrologique-réservoir-irrigation-croissance végétale » du bassin versant, développé à partir des données pour la période de 2005 à 2014. Des projections des marges brutes pour l'ensemble des cultures, avec et sans irrigation, ont été réalisées pour deux périodes futures : les années 2050 (moyenne décennale pour 2050 à 2059) et les années 2090 (moyenne décennale pour 2090 à 2099). En moyenne, par rapport au cas « sans irrigation », le revenu brut futur projeté (en dollars de 2015 par hectare) avec irrigation a augmenté d'environ 12,1 \$ (RCP2.6), 14,4 \$ (RCP4.5) et 13,5 \$ (RCP8.5) dans les années 2050, et d'environ 14,3 \$ (RCP2.6), 13,4 \$ (RCP4.5) et 11,8 \$ (RCP8.5) dans les années 2090. Cela suggère que les rendements des cultures augmentent avec l'irrigation. Toutefois, lorsque les coûts d'investissement et d'entretien du système d'irrigation sont pris en compte, la différence de marges brutes (pour le cas « avec irrigation » moins celles du cas « sans irrigation ») est systématiquement négative pour les deux périodes et pour les trois scénarios d'émissions. Par exemple, les marges brutes projetées avec irrigation dans les années 2090 sont inférieures d'environ 146 à 148 dollars par hectare aux marges brutes sans irrigation. Même si la disponibilité de l'eau d'irrigation augmente le rendement des cultures, l'augmentation correspondante du revenu brut est insuffisante pour compenser les coûts du système d'irrigation.

Le système de rétention d'eau de Pelly's Lake fournit toute une série de services, en plus de stocker l'eau et de soutenir l'irrigation des cultures. Le système peut être utilisé pour la production de biomasse (quenouilles) et la rétention des nutriments, réduisant ainsi la charge en nutriments et en sédiments en aval. Il peut également séquestrer le carbone et capter l'excès de ruissellement printanier ou les pluies des précipitations extrêmes, ce dernier point réduisant les risques d'inondation en aval. Ces avantages connexes positifs ont été évalués à environ 25 505 dollars par hectare et par an.

L'utilisation du système de rétention d'eau multifonctionnel à Pelly's Lake comme mesure d'adaptation pour aider les agriculteurs à gérer les risques liés au stress hydrique dans des conditions de changements climatiques ne passe pas un test coûts-avantages standard, si l'on considère uniquement les avantages en matière d'irrigation fournis aux agriculteurs participants. Toutefois, si la gamme des avantages connexes fournis par le système devait être incluse dans l'analyse, le système serait considéré comme économiquement viable en tant que mesure d'adaptation. Les avantages connexes privés fournis par le système, s'ils sont monétisés, suffiraient à créer une analyse de rentabilisation qui inciterait les agriculteurs à investir dans l'irrigation, tout en offrant des avantages économiques et environnementaux plus larges à la région.

6.7.1.2 Coût de l'adaptation

L'annexe 6.4 fournit certaines informations sur le coût estimé des options d'adaptation, qui servent d'intrants aux analyses coûts-avantages. En général, la compréhension du coût de l'adaptation aux changements climatiques au Canada en est à ses débuts. Deux études récentes ont toutefois cherché à rectifier ce manque de connaissances. Le Bureau d'assurance du Canada et la Fédération canadienne des municipalités (2020) estiment que 5,3 milliards de dollars (en dollars de 2019) doivent être investis annuellement, en moyenne, sur un horizon de planification de 50 ans pour adapter les infrastructures publiques canadiennes (p. ex. routes, digues, installations de traitement des eaux, réseaux d'égouts) aux dangers liés aux changements climatiques. Cela équivaut à environ 0,26 % du PIB national par an. Ce niveau de dépenses pour l'adaptation aux changements climatiques est cohérent avec celui des grandes villes à l'échelle internationale; par exemple, les dépenses réelles pour l'adaptation aux changements climatiques à Londres, à New York et à Paris en 2014–2015 se sont élevées à 0,22–0,23 % du PIB de ces villes (Georgeson et coll., 2016). En matière de dangers liés aux changements climatiques individuels et de types d'infrastructures, la réduction des risques d'inondation et l'investissement dans les infrastructures grises (comme les bâtiments, les digues, les routes, etc.), respectivement, étaient associés aux niveaux de dépenses les plus élevés. À l'échelle régionale, les dépenses annuelles prévues pour l'adaptation aux changements climatiques au Canada atlantique représentent environ les deux tiers (3,6 milliards de dollars) du total national. Le coût relatif aux particularités régionales doit toutefois être considéré avec précaution. Les résultats ci-dessus sont tirés d'une base de données de plus de 400 estimations de coûts provenant des plans d'adaptation aux changements climatiques de 34 collectivités dans l'ensemble du Canada (Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités, 2020). Certaines régions du Canada sont sous-représentées (comme la Colombie-Britannique et le Nunavut), tout comme les centres urbains de taille moyenne, tandis que d'autres régions (Alberta) et les petits centres de population sont surreprésentés. En outre, le processus de planification de l'adaptation utilisé par les 13 collectivités de l'Alberta (40 % de l'échantillon) figurant dans la base de données encourage la priorisation des mesures « douces » sans regret et à faible regret, peu exigeantes en matière d'investissements. Pour ces raisons, et du fait que les mesures d'adaptation chiffrées dans les plans des collectivités se concentrent vraisemblablement sur les risques aux changements climatiques prioritaires, et non sur tous les risques, les dépenses estimées à 5,3 milliards de dollars par an sont probablement une sous-estimation des investissements nécessaires en matière d'adaptation.

Une autre étude récente a estimé les dépenses nécessaires pour adapter les infrastructures municipales du Québec aux risques liés aux changements climatiques à 2,8–5,4 milliards de dollars (en dollars de 2019) au cours des cinq prochaines années (Groupe AGECO, 2019).⁸ Cela équivaut à environ 0,12–0,23 % du PIB par an. Là encore, l'ampleur totale des investissements nécessaires à l'adaptation est sans doute sous-estimée, car seul un sous-ensemble d'infrastructures publiques est pris en compte dans l'analyse, à savoir les réseaux d'eau (eau potable, assainissement et drainage), les infrastructures vertes et les routes.

8 Il peut y avoir un certain chevauchement avec l'estimation de coût du Bureau d'assurance du Canada et de la Fédération canadienne des municipalités (2020) de 5,3 milliards de dollars par an, qui comprenait quatre municipalités du Québec.

6.7.2 Les arguments économiques en faveur de l'adaptation

Pour aider à tirer des conclusions sur les arguments économiques en faveur de l'adaptation aux changements climatiques à partir des études disponibles répertoriées dans l'annexe 6.4, les mesures d'adaptation pour lesquelles un rapport avantages-coûts a été signalé ou a pu être calculé (60 mesures au total) sont classées par ordre d'importance et présentées dans la figure 6.16. Un rapport avantages-coûts est donné sur la base de la valeur actuelle des avantages d'une mesure d'adaptation, divisée par la valeur actuelle de ses coûts. À ce titre, il agit comme un contrôle pour la gamme des mesures d'adaptation, facilitant ainsi les comparaisons entre des mesures de taille différente (d'autres facteurs limitant les comparaisons sont examinés ci-dessous). Un rapport avantages-coûts supérieur à un indique que les avantages d'une mesure d'adaptation dépassent les coûts encourus pour générer ces avantages : une telle mesure serait généralement un investissement justifiable sur le plan de l'efficacité économique. Cependant, toutes les mesures dont le rapport avantages-coûts est supérieur à un ne sont pas nécessairement mises en œuvre, car leur réalisation dépend d'une série de facteurs, notamment des ressources disponibles (voir la section 6.8.1).

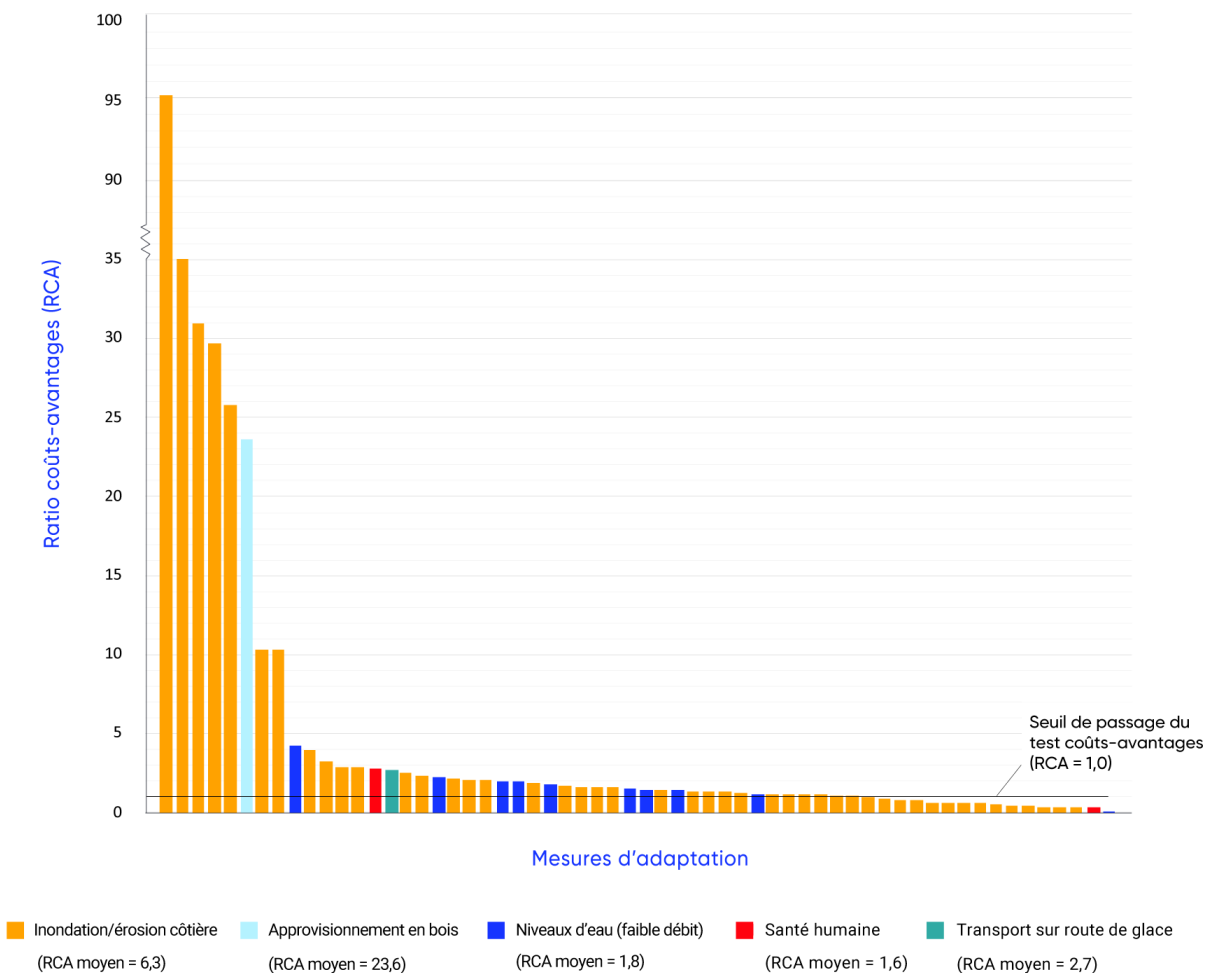
La figure 6.16 montre que, sur l'ensemble des 60 mesures d'adaptation, 75 % passent le test coûts-avantages. Le rapport avantages-coûts moyen non pondéré est de 5,6 (c.-à-d. que chaque dollar investi dans des mesures d'adaptation aux changements climatiques génère, en moyenne, 5,60 dollars en avantages). Le rapport avantages-coûts moyen est toutefois fortement biaisé par quelques valeurs extrêmement élevées. La médiane non pondérée du rapport avantages-coûts est de 1,5, et la moitié des valeurs se situent entre 0,9 et 2,7. Ces valeurs sont conformes à l'expérience observée à l'international. Par exemple, Rose et coll. (2007) ont examiné un échantillon statistique de près de 5 500 subventions accordées entre 1993 et 2003 par la Federal Emergency Management Agency (FEMA) aux États-Unis pour lutter contre les dangers liés aux séismes, aux inondations et au vent et ont constaté que le rapport avantages-coûts global moyen était d'environ 4,0, alors que le rapport avantages-coûts moyen pour les mesures de réduction des inondations était de 5,1. De même, la Global Commission on Adaptation a constaté que 1 dollar investi intelligemment dans l'adaptation aux changements climatiques pouvait générer 2 à 10 dollars en avantages économiques (Global Commission on Adaptation, 2019).

Les exemples disponibles à partir des 60 mesures d'adaptation suggèrent que les mesures « douces » (avec un rapport avantages-coûts moyen de plus de 10:1) représentent des investissements plus efficaces sur le plan économique que les mesures d'adaptation « dures » (avec un rapport avantages-coûts moyen d'environ 3:1). Cela s'explique en grande partie par des coûts d'investissement initiaux plus élevés pour ces dernières mesures. Cela est également dû en partie à l'inclusion des avantages connexes monétisés générés par certaines des mesures « douces » (notamment dans l'évaluation des mesures d'adaptation côtières au Québec) et à l'inclusion d'avantages directs et indirects (c.-à-d. les coûts évités) dans quelques études (p. ex. l'approvisionnement en bois) qui n'ont examiné que les mesures d'adaptation « douces ». Comme souligné à la section 6.6.1, la performance économique d'un projet n'est qu'un des nombreux critères importants pour le choix des options d'adaptation. Dans certains cas, les options « douces » peuvent ne pas offrir un niveau acceptable de réduction des risques, ce qui nécessite l'adoption d'options « dures », dont le rapport avantages-coûts peut être moins intéressant.

En général, la diversité des choix méthodologiques rend difficile la comparaison des résultats entre les évaluations disponibles des coûts et des avantages de l'adaptation. Les études utilisent des horizons

temporels, des scénarios d'émissions et des normes différents et elles reposent sur des hypothèses différentes en matière de développement socio-économique et monétisent diverses combinaisons d'impacts sur le marché et non liés au marché, d'avantages connexes et d'impacts directs et indirects (voir l'étude de cas 6.6). Elles utilisent également des taux d'actualisation différents, bien que ce point soit moins problématique en ce qui concerne la comparabilité des études, puisque presque toutes appliquent des taux constants de 3 à 4 % par année, ce qui témoigne d'une approche prescriptive plutôt que descriptive de l'actualisation (voir la section 6.6.3.2).

a)



b)

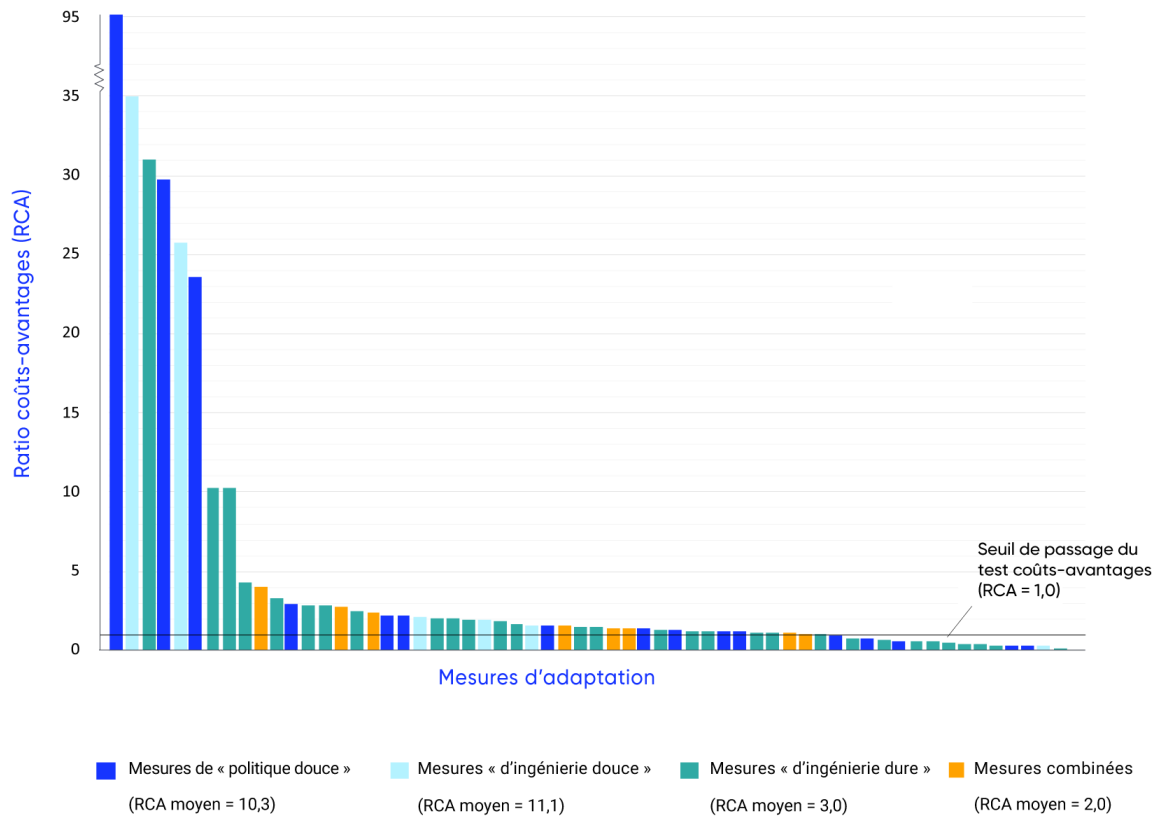


Figure 6.16 : La figure montre les rapports avantages-coûts estimés, soit les avantages en valeur actuelle divisés par les coûts en valeur actuelle, pour 60 mesures d'adaptation au Canada (voir l'annexe 6.4). Parmi les mesures envisagées, 75 % ont un rapport avantages-coûts supérieur à un, signifiant que les avantages dépassent les coûts encourus pour générer ces avantages (c.-à-d. qu'elles seraient typiquement considérées comme des investissements justifiables selon une perspective d'efficacité économique). Le fait que le rapport avantages-coûts moyen non pondéré pour les 60 mesures est de 5,6, bien que le rapport avantages-coûts médian non pondéré soit de 1,5 a) montre les rapports avantages-coûts des différents types de mesures d'adaptation de l'échantillon, différenciés par secteur sensible au climat, et b) montre les rapports avantages-coûts de ces mesures, différenciés par catégorie de mesures d'adaptation : les mesures de « politique douce » (p. ex. le retrait planifié, l'amélioration de la lutte contre les organismes nuisibles, la planification flexible); les mesures reposant sur des méthodes d'ingénierie « douces » (p. ex. le rechargement des plages avec du sable, les toits verts); les mesures d'ingénierie « dures » (p. ex. les digues, les déversoirs, les ouvrages longitudinaux); et les mesures « combinées ». Source des données : consulter l'annexe 6.4.

6.7.3 Dommages résiduels

Il ressort des études de la TRNEE (2011) dans l'annexe 6.4 que, même avec la mise en place de mesures d'adaptation, les coûts résiduels des dommages dus aux changements climatiques demeurent. Par exemple, le coût de l'adoption d'un portefeuille de mesures d'adaptation pour faire face aux impacts des changements climatiques sur l'approvisionnement en bois est de 2,3 à 3,6 milliards de dollars (en valeur actuelle, à un taux d'actualisation constant de 3 % pour la période de 2010 à 2080) et réduit les pertes économiques de 19,9 à 137,9 milliards de dollars, mais les pertes résiduelles de 4,6 à 37,1 milliards de dollars subsistent. Les coûts totaux des changements climatiques dans ce cas sont donc de 6,9 à 40,7 milliards de dollars. Bien que les autres études énumérées à l'annexe 6.4 n'en fassent pas explicitement état, une comparaison rapide des résultats dans l'annexe 6.1 et l'annexe 6.2 avec ceux de l'annexe 6.4 révèle la présence de coûts de dommages résiduels dans la plupart des cas, ce qui suggère des limites potentielles, bien qu'indéterminées, à ce que l'adaptation peut accomplir (voir la section 6.8.1). La présence de coûts résiduels ne signifie pas qu'une mesure est mal conçue ou qu'un niveau d'adaptation insuffisant a été mis en œuvre; elle peut simplement indiquer qu'il n'est pas envisageable de viser des dommages résiduels nuls ou que ses coûts excéderaient la valeur financière des dommages évités.

6.8 Il existe des obstacles et des limites économiques à l'adaptation

Il existe toute une série d'obstacles écologiques, technologiques, économiques et institutionnels à l'adaptation, ce qui limite les possibilités de réduire les effets néfastes des changements climatiques et de tirer avantage des nouvelles possibilités. Les gouvernements peuvent jouer un rôle important dans la prise en compte de ces obstacles, même si un niveau d'adaptation économiquement efficace impliquera vraisemblablement certains coûts résiduels.

Outre les contraintes financières, divers obstacles en matière de marché, de comportement et de politique contribuent à créer un écart d'adaptation, c'est-à-dire la différence entre le niveau d'adaptation requis pour compenser tous les effets négatifs des changements climatiques ou pour tirer parti de toutes les nouvelles possibilités. Cette situation est davantage compliquée par les limites écologiques et technologiques de l'adaptation. L'intervention de tous les paliers de gouvernement peut jouer un rôle important pour lever ces obstacles et encourager l'adaptation par d'autres acteurs. Certaines mesures d'adaptation et politiques publiques conçues pour soutenir l'adaptation ne peuvent être justifiées par des raisons économiques (c-à-d. que les coûts sociaux sont supérieurs aux avantages sociaux) ou sont tout simplement trop coûteuses par rapport aux ressources disponibles. Par conséquent, le niveau d'adaptation réalisable, même avec l'intervention de tous les paliers de gouvernement, ne permettra généralement pas de surmonter toutes les conséquences des changements climatiques. Les dommages résiduels feront vraisemblablement partie de toute stratégie d'adaptation économiquement efficace.

6.8.1 Introduction

Tant la théorie que les données probantes indiquent que l'adaptation ne peut neutraliser tous les effets négatifs des changements climatiques, ni saisir tous les effets positifs (Chambwera et coll., 2014; Dow et coll., 2013). Les sections précédentes du présent chapitre soulignent les cas potentiels d'adaptation insuffisante ou inefficace (p. ex. le déficit d'adaptation actuel en ce qui concerne les phénomènes météorologiques extrêmes au Canada) (voir la section 6.4.2). La présente section examine les obstacles et les limites de l'adaptation d'un point de vue économique. Un obstacle désigne tout type de défi, de problème ou de contrainte susceptible d'entraver ou d'arrêter l'adoption de certaines mesures d'adaptation par les entreprises ou les ménages, mais qui peut être surmonté grâce à un effort concerté; une limite est une contrainte qui ne peut être surmontée sans subir des coûts déraisonnables ou prendre des mesures déraisonnables (Eisenack et coll., 2014; Productivity Commission, 2012).

6.8.2 Les obstacles et les limites de l'adaptation d'un point de vue économique

D'un point de vue économique, on s'attend à ce que les acteurs privés, tels que les entreprises et les ménages, entreprennent une quantité importante de mesures d'adaptation, car ceux-ci modifient leurs décisions et leurs comportements en réaction aux signaux climatiques pour maximiser leur profit ou leur bien-être (Mendelsohn, 2012). Ces réactions comportementales aux stimuli climatiques constituent les prémisses de ce que l'on appelle l'adaptation autonome (Fankhauser, 2017). Par exemple, les gens adaptent leurs destinations de vacances ou leurs dates de voyage en fonction du climat (Hamilton et coll., 2005), et les agriculteurs adaptent leurs cultures ou utilisent des dates de récolte ou d'ensemencement différentes en fonction de l'évolution des régimes des précipitations (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2007).

Cependant, des données probantes montrent que l'adaptation autonome par les entreprises et les personnes n'est pas toujours adéquate ou efficace (Eisenack et coll., 2014; Klein et coll., 2014; Porter et coll., 2014; de Bruin et coll., 2011; Agrawala et coll., 2010). En pratique, il existe de multiples obstacles et limites à l'adaptation privée (Biesbroek et coll., 2013), ce qui signifie que seul un sous-ensemble des besoins d'adaptation peut être réellement satisfait (voir la figure 6.17). Les limites peuvent être d'ordre technologique (p. ex. les équipements de fabrication de neige pourraient ne pas être en mesure de maintenir un enneigement adéquat dans les stations de ski de basse altitude à mesure que le climat se réchauffe), écologique (p. ex. certains écosystèmes et certaines espèces pourraient être incapables de s'adapter à un réchauffement plus rapide), économique (p. ex. le niveau d'adaptation qui se justifie pour des raisons économiques une fois que les coûts du cycle de vie des mesures ont été pris en compte, par rapport aux avantages prévus) et institutionnel (p. ex. le financement et les capacités disponibles) (Chambwera et coll., 2014). L'écart entre le niveau d'adaptation requis pour neutraliser tous les impacts négatifs (ou saisir toutes les occasions) et le potentiel maximal d'adaptation après avoir tenu compte des limites technologiques et écologiques est appelé « impacts inévitables » (Chambwera et coll., 2014). Cependant, ce ne sont pas toutes les mesures visant à surmonter les impacts évitables qui seront soumises à un test coûts-avantages de base, laquelle est révélatrice du potentiel économique de l'adaptation. Les coûts du cycle de vie de certaines mesures d'adaptation dépasseront les coûts économiques évités, ce qui indique que d'autres investissements offrent un meilleur rapport qualité-prix.

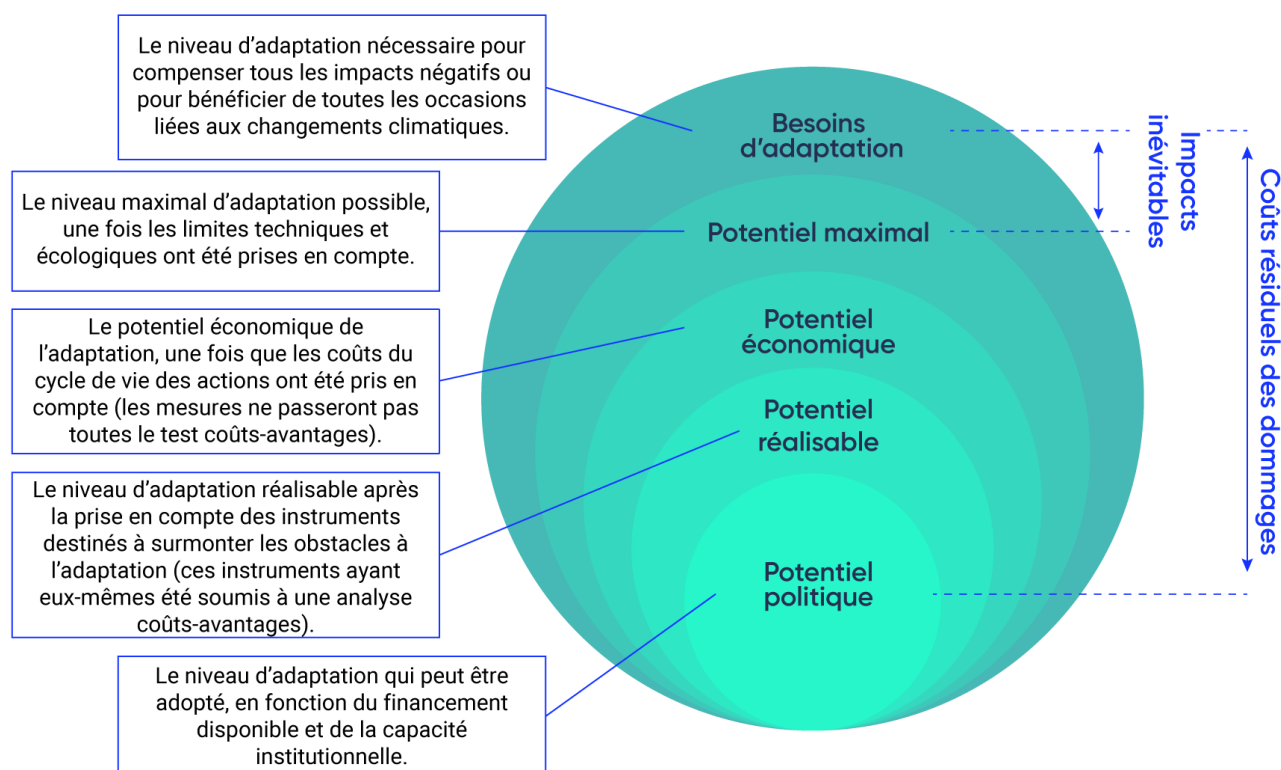


Figure 6.17 : Obstacles économiques et limites au potentiel maximal d'adaptation. Source : Adapté de Chambwera et coll., 2014; US Environmental Protection Agency, 2007.

6.8.2.1 Défaillances du marché

Le fait qu'une mesure d'adaptation satisfasse en théorie à un test coûts-avantages ne signifie pas nécessairement qu'elle sera adoptée dans la pratique. La littérature portant sur l'économie regorge d'une longue liste d'obstacles qui peuvent entraver la capacité des personnes et des entreprises à allouer des ressources à des mesures d'adaptation améliorant le bien-être (Klein et coll., 2014). Il est possible que les marchés ne fournissent pas aux décideurs des renseignements pertinents sur l'ensemble des coûts et des avantages de l'adaptation, ce qui entraîne des niveaux d'investissement inefficaces dans l'adaptation. Cela peut être dû au fait que les renseignements requis sont inadéquats ou ne sont pas uniformément disponibles pour toutes les parties impliquées dans la prise de décisions, mais aussi à la présence d'externalités, de biens publics et d'incitatifs mal alignés, lorsque les avantages de l'adaptation ne reviennent pas à l'individu ou à l'entité qui la paie (voir l'encadré 6.2; Productivity Commission, 2012; Braeuninger et coll., 2011; Ekstrom et coll., 2011; Cimato et Mullan, 2010; Moser et Ekstrom, 2010; Stern, 2006).

Encadré 6.2 : Défaillances du marché et adaptation

Les défaillances du marché sont des imperfections des mécanismes du marché qui conduisent à une allocation inefficace des ressources. Dans le contexte de l'adaptation, les défaillances du marché peuvent entraîner une adaptation moins efficace, des occasions manquées et des coûts plus élevés (Moser et Ekstrom, 2010). Il existe plusieurs raisons pour lesquelles les mécanismes du marché peuvent échouer :

Défaillance en matière d'information

Les acteurs privés peuvent ne pas avoir accès à des renseignements parfaits pour éclairer leurs décisions. Ils peuvent manquer de renseignements sur les risques climatiques actuels et futurs, et sur les diverses mesures d'adaptation à leur disposition. Ils peuvent également ne pas être conscients des coûts et des avantages de ces mesures. Cela rend le processus de prise de décisions efficaces plus difficile. Il peut également y avoir des situations où l'information est connue de certains acteurs (p. ex. les propriétaires), mais pas d'autres (p. ex. les acheteurs potentiels et les assureurs). Cela peut susciter un comportement opportuniste de la part des personnes qui détiennent des informations de qualité supérieure. Par exemple, un propriétaire peut sous-investir dans l'adaptation en pensant que quelqu'un d'autre (assureurs ou gouvernement) s'occupera des impacts éventuels. Dans d'autres situations, comme la gestion de biens ou d'actifs, des incitatifs mal alignés peuvent constituer un problème, là où les coûts de l'adaptation sont assumés par certains acteurs (p. ex. les propriétaires), tandis que les avantages reviennent à d'autres (p. ex. les locataires). Par exemple, un propriétaire n'est guère incité à investir dans des mesures d'économie d'eau lorsque ce sont les locataires qui paient les factures d'eau.

Biens publics

Les marchés ont des difficultés à fournir des biens publics en raison du problème de resquille. Ce problème se pose lorsque des individus peuvent tirer parti de la présence d'un bien ou d'un service sans avoir à contribuer à sa prestation. Parmi les exemples de biens publics dans le cas de l'adaptation, citons la protection des collectivités contre les inondations à grande échelle, les modèles climatiques et les informations sur les impacts des changements climatiques, la santé et la sécurité publiques et la préparation aux situations d'urgence. Ces biens seront insuffisamment fournis ou ne seront pas fournis du tout par les marchés privés. L'une des raisons en est la difficulté d'exclure les non-payeurs de la jouissance des avantages du bien (comme l'infrastructure de protection côtière), ce qui rend difficile la réalisation de tout profit. En outre, pour certains biens et services qui sont touchés par les changements climatiques (comme les écosystèmes), les marchés n'existent pas. Dans ces cas, il n'existe pas de mécanisme de marché pour allouer des ressources à l'adaptation.

Externalités

Les externalités se produisent lorsque les mesures d'adaptation prises par certains individus ont des conséquences inattendues (positives ou négatives) pour d'autres individus, sans qu'il y ait de paiement ou de compensation entre les parties. Cela est dû au fait que les conséquences inattendues ne sont pas prises en compte par les prix du marché. Par exemple, l'utilisation accrue de la climatisation par certains individus en réponse à la hausse des températures extrêmes peut entraîner une augmentation des émissions de GES, une détérioration de la qualité de l'air et des effets néfastes sur la santé pour d'autres individus, bien que les coûts de santé et de bien-être associés ne soient généralement pas assumés par ceux qui utilisent les climatiseurs.

6.8.2.2 Défaillances en matière de comportement

Même lorsque les marchés envoient les bons signaux aux acteurs privés, ces derniers ne font pas nécessairement des choix dans leur intérêt ou celui de la société en général, en raison de plusieurs anomalies et biais comportementaux. Le type, la complexité et le volume des informations disponibles, ainsi que la manière dont elles sont communiquées et par qui, ont tous un impact important sur la probabilité que les gens les lisent, les comprennent et les utilisent efficacement. La capacité cognitive, par exemple, est connue pour avoir une incidence sur notre capacité à prendre des décisions en matière d'adaptation efficaces impliquant des informations complexes et probabilistes (Grothmann et Patt, 2005). D'autres anomalies et biais comportementaux potentiels se manifestent par l'inertie décisionnelle, la procrastination et des taux d'actualisation élevés (p. ex. Boyd et al, 2015). En conséquence, on observe que les individus font des choix qui semblent irrationnels et qui divergent des prévisions de l'économie classique (c.-à-d. des choix qui maximisent les avantages nets ou le bien-être). Ces aspects irrationnels de la prise de décisions sont souvent qualifiés de défaillances en matière de comportement.

6.8.2.3 Défaillances en matière de politique

Les défaillances en matière de politique peuvent également créer des obstacles à l'adoption d'un niveau d'adaptation économiquement efficace (Her Majesty's Government, 2013; Cimato et Mullan, 2010). Ces défaillances surviennent lorsque la réglementation fausse les transactions du marché, incitant ainsi les acteurs privés à sous ou surinvestir dans l'adaptation. Par exemple, les transferts gouvernementaux pour des mesures d'ingénierie dure aux fins de protection contre les inondations et l'aide en cas de catastrophe fournissent des incitatifs qui alimentent un cycle auto-renforcé de croissance continue dans les zones côtières exposées aux inondations, même si le retrait ou l'abandon représente la ligne d'action maximisant le bien-être (Kousky, 2014; Filatova 2013; Filatova et coll., 2011). Les taxes sur les produits d'assurance et les transactions immobilières en sont un autre exemple (Boyd et coll., 2015). Les défaillances en matière de politique peuvent également se produire en présence d'objectifs politiques contradictoires ou concurrents, ou en cas de manque de clarté quant aux objectifs.

6.8.3 Rôle des gouvernements

La présence de défaillances du marché, ainsi qu'en matière de comportement et de politique, signifie que le potentiel économique de l'adaptation n'est pas pleinement réalisé. Cela crée un rôle clé pour le gouvernement (Fankhauser, 2017) :

- Premièrement, éliminer les distorsions politiques qui font obstacle à des choix d'adaptation économiquement efficaces pris par des acteurs privés : par exemple, pour réformer (p. ex. réduire, restructurer ou éliminer) les subventions qui alimentent le cycle auto-renforcé de la croissance continue dans les zones côtières ou riveraines exposées aux inondations (Boyd et coll., 2015).
- Deuxièmement, utiliser des instruments réglementaires et économiques pour surmonter les défaillances du marché et en matière de comportement, et fournir des incitatifs à une adaptation privée efficace (p. ex. Boyd et coll., 2015; Hotte et Nelson, 2015). En ce qui concerne l'utilisation d'instruments économiques pour inciter à l'adaptation, il est important que la conception de ces instruments tienne compte des défaillances courantes en matière de comportement qui sont susceptibles de nuire à leur efficacité (Boyd et coll. 2015).
- Troisièmement, offrir des biens et services publics dédiés à l'adaptation, comme la production et la diffusion de renseignements sur le climat, les dépenses pour les programmes de recherche et de surveillance, les investissements dans la protection contre les inondations à grande échelle, les systèmes d'alerte précoce pour les collectivités, l'amélioration de la planification et de la préparation aux situations d'urgence, et l'élaboration de politiques visant à renforcer la résilience des écosystèmes.

Cependant, les formes d'intervention gouvernementale ne sont pas toutes judicieuses dans une perspective économique. Il est également nécessaire de démontrer que les avantages découlant de ces interventions dépassent les coûts de mise en œuvre pour les acteurs privés et le gouvernement (Productivity Commission, 2012). Après avoir pris en compte l'efficacité des instruments réglementaires et économiques destinés à lever les obstacles à une adaptation efficace, ces instruments ayant eux-mêmes passé un test coûts-avantages, seulement un certain niveau d'adaptation est réalisable (voir la figure 6.11).

Certains individus, entreprises ou collectivités peuvent être incapables de se permettre ou de financer les investissements nécessaires aux mesures d'adaptation prévues, même s'ils savent qu'il est dans leur intérêt de le faire (Lecocq et Shalizi, 2007)⁹. Un autre rôle du gouvernement est d'aider les groupes et collectivités vulnérables et défavorisés qui n'ont pas accès aux ressources nécessaires pour s'adapter suffisamment (Fankhauser, 2017). Parallèlement, les gouvernements seront eux aussi confrontés à des contraintes financières et de capacité, et devront répartir les ressources entre des besoins concurrents. Lorsqu'un niveau d'adaptation économiquement efficace est atteint après avoir pris en compte les contraintes techniques,

9 Les défaillances du marché peuvent également se produire dans les systèmes financiers (p. ex. si un emprunteur potentiel dispose de meilleures informations sur sa capacité à rembourser un prêt que le prêteur lui-même) et peuvent limiter le montant qu'une personne ou une entreprise peut emprunter, ou entraîner des conditions de financement et des taux d'intérêt défavorables.

sociales et écologiques, des dommages résiduels peuvent néanmoins survenir. Le fait qu'une certaine quantité de dommages résiduels puisse être inévitable donne lieu à une série d'importants enjeux d'éthique et de justice sociale qui sont au cœur du discours sur les « pertes et dommages » au niveau international, faisant référence aux impacts inévitables au-delà des limites de l'adaptation (van der Geest et Warner, 2015). Bien qu'une discussion sur ces enjeux dépasse le cadre de ce chapitre (voir Wallimann-Helmer et coll., 2019 pour un aperçu des principaux défis en matière d'éthique et de justice), le gouvernement peut également avoir un rôle dans la définition de ce qui constitue un niveau acceptable de dommages résiduels et la meilleure façon de concilier les effets sur le bien-être de ces impacts inévitables.

6.9 Aller de l'avant

Les décideurs exigent de plus en plus d'informations sur la variété des données probantes disponibles pour définir les coûts des changements climatiques pour le Canada, ainsi que la valeur nette des différentes mesures d'adaptation afin d'éclairer l'analyse de rentabilité des mesures. On constate une augmentation du volume et de la qualité des données sur les coûts des changements climatiques et sur les coûts et avantages de l'adaptation. Cela reflète l'importance croissante des informations économiques pour les décideurs. Cependant, il existe également de nombreuses lacunes dans les connaissances, ce qui laisse entrevoir le potentiel d'un nouveau programme de recherche fécond.

6.9.1 Les coûts de l'inaction

Il reste encore beaucoup à apprendre sur les coûts des changements climatiques pour le Canada, tant au niveau global que pour des secteurs, régions, collectivités et populations vulnérables donnés. Les projections de l'ensemble des conséquences économiques résultant des changements climatiques pour le Canada sont très incertaines. Tandis que certains exercices de modélisation simplifiés et très agrégés prévoient des gains nets pour l'économie du Canada, d'autres prévoient des pertes nettes. Des recherches supplémentaires s'imposent pour pouvoir dissiper l'incertitude entourant le coût global des changements climatiques pour le Canada.

Les décisions en matière d'adaptation sont en grande partie prises au niveau local ou provincial, où l'état actuel des connaissances concernant le coût de l'inaction est très fragmenté. Il existe d'importantes lacunes dans les connaissances en ce qui concerne les provinces des Prairies, les Territoires du Nord-Ouest, le Yukon et le Nunavut, l'intérieur de la Colombie-Britannique, l'Ontario, ainsi que les peuples des Premières Nations, les Inuits et les Métis. Par ailleurs, il n'existe des estimations de haute qualité des conséquences économiques que pour quelques villes canadiennes. Étant donné que la plupart des processus décisionnels en matière d'adaptation se déroulent au niveau local, une priorité pour les recherches futures devrait être non seulement de remédier à l'incertitude entourant les conséquences économiques globales pour le Canada, mais aussi

d'améliorer la couverture géographique et la portée des estimations des dommages pour les municipalités, ainsi que le niveau de désagrégation par secteurs, par biens et services, et par risques aux changements climatiques. Il est donc nécessaire d'adopter une approche ascendante et multisectorielle qui remédie à plusieurs lacunes transversales dans la littérature actuelle. Les recommandations pour l'élaboration de nouvelles études économiques sont les suivantes :

Études prenant en compte une gamme plus large de dangers liés aux changements climatiques : La plupart des projections globales disponibles au niveau national (et la plupart des projections régionales) sont axées sur les impacts liés aux changements climatiques à évolution lente (c.-à-d. les changements graduels de température et de précipitations, et certains impacts biophysiques qui en découlent). Les futures enquêtes sur les conséquences économiques bénéficieraient d'une attention accrue sur les événements extrêmes et les catastrophes (c.-à-d. les événements à faible probabilité et à conséquences élevées).

Études prenant en compte une gamme plus large de secteurs sensibles au climat : Certains secteurs sont mieux représentés que d'autres dans la littérature actuelle portant sur l'économie. Une série d'estimations sont disponibles pour les zones côtières, l'agriculture et la foresterie. Pour d'autres secteurs, notamment le tourisme, le travail, les ressources en eau et la santé publique, seules quelques estimations incomplètes sont disponibles. Il existe également des lacunes importantes dans notre compréhension des conséquences économiques des changements climatiques sur la santé publique. D'autres secteurs ne sont pas encore représentés dans la littérature, comme les écosystèmes, la pêche, les infrastructures énergétiques (y compris le pétrole et le gaz), les infrastructures de transport (y compris le rail, l'air et les ports), la qualité de l'eau et la sécurité (p. ex. les crimes, les migrations, les conflits).

Études prenant en compte une gamme plus large d'impacts économiques : Une évaluation complète des conséquences économiques permettrait de prendre en compte les impacts liés au marché et non liés au marché. Une conséquence importante des changements climatiques sur le bien-être est la perte de biens et de services qui ne sont pas commercialisés sur les marchés et qui ne peuvent donc pas être évalués à l'aide des prix du marché ou saisis par des modèles IEG. Parmi les exemples d'impacts économiques à plus grande portée qui méritent d'être étudiés figurent la perte d'espèces, la douleur et l'inconfort, la perte du patrimoine culturel, les conflits et les migrations forcées. Même si elles sont largement omises dans les estimations actuelles, ces pertes de bien-être peuvent être considérables. Des recherches sont nécessaires pour s'assurer qu'elles sont mieux représentées dans les estimations futures des impacts économiques.

Études prenant en compte des impacts intersectoriels : Il existe un grand nombre d'impacts intersectoriels potentiellement importants qui ne sont pas bien saisis, en particulier dans le cadre d'une approche ascendante et multisectorielle. Par exemple, l'eau est utilisée pour produire de l'électricité (p. ex. pour le refroidissement thermique) et l'électricité est utilisée pour fournir de l'eau (p. ex. pour faire fonctionner les stations de pompage). Ces liens sont généralement omis des estimations. Certaines interactions non biophysiques se produisent par des mécanismes de marché et peuvent être saisies à l'aide de modèles IEG, par exemple. D'autres interactions ne fonctionnent pas de cette manière, notamment lorsque les dommages aux écosystèmes amplifient d'autres impacts. Des recherches sont nécessaires pour comprendre quels liens intersectoriels sont économiquement importants au niveau local ou régional, et devraient donc être pris en compte dans la prochaine génération d'estimations.

Études prenant en compte des développements socio-économiques : Une conclusion importante de la littérature actuelle concerne l'importance des changements socio-économiques futurs (p. ex. la croissance des populations, des biens et des richesses) comme facteur clé de l'ampleur absolue des coûts économiques prévus. Malgré le rôle avéré de ce type de changement en tant que déterminant du coût de l'inaction, l'avenir socio-économique est abordé soit de manière incomplète ou est tout simplement omis dans de nombreuses études actuelles.

6.9.2 Les coûts et les avantages de l'adaptation

Les connaissances relatives à l'évaluation des coûts et des avantages de l'adaptation au Canada sont actuellement limitées à quelques secteurs sensibles au climat, ce qui signifie que seule une gamme étroite d'adaptations à un ensemble limité d'impacts liés aux changements climatiques dans des régions particulières a été prise en compte jusqu'à présent. De plus, les études existantes sont presque exclusivement ciblées sur le secteur public. Par conséquent, malgré les résultats prometteurs des études existantes (voir la section 6.7.1), il n'est pas possible de faire des généralisations sur l'attrait économique des mesures d'adaptation dans tous les contextes. Il y a beaucoup à apprendre sur les coûts et les avantages de l'ensemble des mesures d'adaptation qui seront probablement nécessaires pour gérer les effets des changements climatiques à des seuils tolérables. Des recherches sont nécessaires pour mieux comprendre l'efficacité économique des mesures de renforcement des capacités et des interventions de politique publique visant à surmonter les obstacles à l'adaptation. Cela implique de comprendre comment les connaissances de l'économie comportementale peuvent être utilisées pour améliorer la conception et l'efficacité des politiques afin d'inciter à la mise en œuvre des niveaux souhaitables d'adaptation privée. Parallèlement, il est nécessaire de mieux comprendre les politiques publiques actuelles qui favorisent la mauvaise adaptation; il est crucial de remédier aux défaillances en matière de politique actuelles si l'on veut que les interventions visant à encourager l'adaptation soient efficaces.

Bien que, dans un contexte de grandes incertitudes, la théorie favorise les mesures d'adaptation « douces », à court terme, flexibles et relativement peu coûteuses, par rapport aux mesures d'adaptation « dures », à long terme et à forte intensité de capital, il faut encore que des applications pratiques au Canada démontrent quelles mesures d'adaptation ont le plus de mérite, et dans quelles circonstances. Des études de cas sont nécessaires pour mieux comprendre les avantages économiques de l'échelonnement des décisions en matière d'adaptation dans le temps en fonction de multiples scénarios prospectifs, plutôt que de prendre une seule décision qui semble optimale dans l'immédiat. Tous les exemples actuels de « preuve de principe » sont internationaux.

Les évaluations économiques actuelles accordent peu d'attention aux enjeux de répartition entre les différents acteurs, et à l'économie politique de l'adaptation (c.-à-d. à la manière dont les décisions en matière d'adaptation sont prises, en tenant compte des facteurs politiques, culturels et économiques). L'adaptation, comme toute forme d'intervention, aura généralement des gagnants et des perdants, bien qu'aucune des études économiques qui ont été formellement examinées n'ait pris en compte la répartition des coûts et des avantages entre les acteurs. Les impacts de la répartition des coûts et des avantages étant un sujet de discussion important dans les débats locaux, provinciaux et nationaux sur la politique liée aux changements

climatiques, une meilleure compréhension de ces impacts aiderait à la fois à concevoir des mesures d'adaptation et à progresser vers leur mise en œuvre.

Enfin, la prise de conscience du coût de l'adaptation aux changements climatiques au Canada ne fait que commencer. Cet éveil a été rendu possible grâce à deux études récentes sur le niveau d'investissement nécessaire pour adapter les infrastructures publiques aux changements climatiques au niveau national (Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités, 2020) et au Québec (Groupe AGECO, 2019). Cependant, de nombreuses lacunes dans les connaissances subsistent. À titre d'exemple, il n'existe aucune information au niveau global sur l'investissement nécessaire pour adapter d'autres secteurs économiques aux impacts anticipés des changements climatiques. Même en ce qui concerne les infrastructures publiques, on comprend mal les besoins d'investissement en matière d'adaptation pour certaines parties du pays (p. ex. la Colombie-Britannique et le Nunavut) et pour les grands centres de population. Ces lacunes en matière de connaissances rendent difficile de déterminer l'ampleur de l'effort d'adaptation requis, la manière dont il devrait être financé et, en conjonction avec les estimations des avantages de l'adaptation, la manière dont les fonds disponibles devraient être déployés.

6.9.3 Nouveaux enjeux

Le cadre de la prise de décisions en matière d'adaptation est en train de changer, ce qui a une incidence sur l'économie de l'adaptation. Alors que l'approche prédominante pour aborder les étapes d'évaluation et de planification d'un cadre de gestion adaptative des risques était historiquement basée sur une approche préconisant les connaissances scientifiques (ou « descendante »), la littérature portant sur l'économie a récemment évolué vers un processus analytique privilégiant les politiques (ou approche « ascendante ») et mettant l'accent sur les mesures précoces (voir la section 6.2.3).

Cette évolution a des conséquences importantes pour l'analyse économique des mesures d'adaptation et nécessite la mise au point et l'application d'autres outils d'aide à la prise de décisions. Lorsque la prise en compte d'incertitudes profondes concernant les impacts futurs est importante et que les décideurs recherchent des options flexibles ou robustes, de nouveaux outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie tels que les profils d'évolution de l'adaptation, l'analyse des options réelles, la prise de décisions solides et l'analyse de portefeuille sont plus appropriés pour l'évaluation économique que les outils classiques comme l'ACA (voir la section 6.2.5).

L'importance accrue accordée au renforcement des capacités, aux interventions comportementales et à la valeur de l'information dans le cadre de l'approche centrée sur les politiques crée également des défis pour l'évaluation des coûts et des avantages en terme monétaire, nécessitant des approches différentes de quantification des impacts physiques et de leur évaluation subséquente. La considération accrue du processus d'adaptation met également davantage l'accent sur la compréhension des obstacles et des limites économiques à une adaptation efficace (p. ex. les défaillances du marché et en matière de comportement et de politique), ainsi que sur les coûts et les avantages des interventions gouvernementales destinées à surmonter ces obstacles (voir la section 6.8). Pour concevoir des interventions politiques efficaces, il faut comprendre les réactions comportementales aux différents incitatifs. Bref, l'aide à la prise de décisions en matière d'économie s'adapte elle-même pour répondre à l'évolution des besoins des décideurs.

Il est de plus en plus reconnu qu'un niveau d'adaptation efficace est limité par d'autres facteurs que les enjeux d'accessibilité financière. Une combinaison de défaillances du marché (p. ex. manque d'informations de qualité et accessibles sur les risques pertinents et les mesures d'adaptation, ou présence de biens publics ou d'externalités), d'anomalies comportementales (p. ex. capacité cognitive, inertie, taux d'actualisation élevés) et de distorsions dominantes en matière de politiques (p. ex. des subventions qui favorisent ultimement la mauvaise adaptation) limite le potentiel d'adaptation (voir la section 6.8). Tous les paliers de gouvernement doivent faire plus que de fournir une aide financière et d'investir dans des biens publics (tels que les services d'information sur le climat). Parmi les autres mesures importantes à prendre figure l'élimination des distorsions existantes en matière de politiques, ainsi que la conception et la mise en œuvre de règlements et d'instruments économiques permettant de surmonter les imperfections pertinentes en matière de marché et les défaillances en matière de comportement. Étant donné le potentiel de préoccupations importantes en matière d'éthique et de justice sociale, il est tout aussi important que les gouvernements réfléchissent à ce que serait un niveau acceptable de dommages résiduels et à la meilleure façon de traiter les effets des impacts inévitables sur le bien-être.

Un autre sujet de discussion dans la littérature portant sur l'économie est la mesure dans laquelle les conséquences économiques des changements climatiques pourraient être beaucoup plus importantes que ne le suggèrent les projections actuelles, non pas en raison des limites des modèles d'émissions et d'impacts des changements climatiques, qui omettent des risques importants, mais en raison de la manière dont les modèles économiques traitent les dommages et la croissance. L'enjeu est de savoir si le niveau de la production économique est réduit par un choc ou un stress climatique, mais que le taux de croissance économique sous-jacent n'est pas touché, ou si les changements climatiques ont un impact cumulatif plus persistant sur le taux de croissance lui-même. Jusqu'à récemment, la plupart des estimations du coût des changements climatiques étaient basées sur des pertes statiques de production économique annuelle. Toutefois, si les changements climatiques causent des dommages durables au capital-actions, aux terres et à l'efficacité avec laquelle ces facteurs et la main-d'œuvre sont transformés en production économique, comme le suggèrent certains chercheurs, alors le taux de croissance annuel sera touché en plus du niveau de production. En raison des effets cumulés de la réduction de la croissance, les impacts sur la production économique seront beaucoup plus importants et persistants. Le débat demeure non résolu dans la littérature.

6.10 Conclusion

Ce chapitre a évalué l'état des connaissances et des pratiques en matière d'impacts des changements climatiques et d'économie de l'adaptation au Canada. Les informations sur les conséquences économiques des changements climatiques, ainsi que sur les coûts et les avantages des mesures d'adaptation, sont de plus en plus demandées par une grande variété de décideurs. Dans un cadre de gestion adaptative des risques, les informations économiques peuvent être utilisées pour sensibiliser à la nécessité d'allouer des ressources à la planification de l'adaptation, ainsi que pour éclairer la priorisation des risques et des vulnérabilités climatiques actuels et futurs. Les informations économiques peuvent également être utilisées

pour éclairer la sélection et le volume des ressources allouées aux mesures d'adaptation. Dans l'ensemble, la quantité, la complexité et la qualité des connaissances sur ce sujet au Canada sont à la hausse. Nous savons désormais beaucoup de choses sur les coûts potentiels des changements climatiques pour certaines régions, certains secteurs et certaines villes. Il existe également de solides arguments économiques en faveur des investissements dans l'adaptation dans des contextes particuliers. Si l'état des connaissances et des pratiques s'améliore, il est clair que la base de données probantes est encore très fragmentée et qu'il subsiste d'importantes lacunes en matière de connaissances et de couverture.

Il existe des preuves d'un déficit ou d'un écart d'adaptation au Canada, comme en témoigne le fait que les ménages, les entreprises et les infrastructures, etc. sont sous-adaptés aux conditions et à la variabilité climatiques actuelles. Les pertes en hausse ne s'expliquent pas toutes par des facteurs comme l'augmentation des expositions au risque, la valeur des actifs et l'inflation générale des prix, ce qui laisse supposer que les changements climatiques pourraient jouer un rôle à cet égard et présager des niveaux de pertes croissants auxquels on peut s'attendre à l'avenir avec l'intensification prévue des changements climatiques. Les projections des coûts futurs des changements climatiques pour le Canada confirment-elles cette conjecture? En résumé, la réponse est oui. La plupart des données probantes indiquent que les changements climatiques imposeront des pertes de bien-être globales croissantes pour les Canadiens, bien que des gains de bien-être soient attendus dans certains secteurs et dans certaines régions du pays.

À l'avenir, il est prévu que les changements climatiques imposent des coûts économiques substantiels aux différents secteurs et régions. Dans le cadre de scénarios à fortes émissions sans nouvelles mesures d'adaptation, les coûts économiques dans certains secteurs et régions pourraient s'élever à des centaines de millions, voire des dizaines de milliards de dollars par an d'ici les années 2050, et encore plus d'ici la fin du siècle (TRNEE, 2011). Les secteurs et régions touchés comprennent la foresterie, les zones côtières, la santé publique, les stations de ski, le transport maritime, la production d'hydroélectricité, le traitement des eaux municipales et les propriétés riveraines dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Les projections des conséquences économiques pour l'agriculture varient. La plupart des études prévoient des avantages économiques des impacts des changements climatiques sur les cultures, notamment dans les provinces des Prairies. La contrepartie est que ces études ne considèrent que les changements dans des conditions moyennes et ne tiennent pas compte des impacts négatifs associés aux changements climatiques et aux extrêmes météorologiques. Pour les quelques villes pour lesquelles des informations sont disponibles, on prévoit que les changements climatiques auront des conséquences économiques négatives.

Les conséquences économiques des changements climatiques pour le Canada peuvent être évaluées à différentes échelles spatiales (nationale, provinciale/territoriale, régionale, municipale) et sectorielles (mono- ou multisectorielle). À chaque échelle, les évaluations des coûts peuvent également différer de manière importante en termes de portée, c'est-à-dire en fonction des impacts liés aux changements climatiques considérés (p. ex. un ou plusieurs impacts à déclenchement lent ou à déclenchement rapide), des types de coûts mesurés (p. ex. directs, indirects, macroéconomiques, liés au marché, non liés au marché) et des délais (p. ex. à court, moyen et long terme). En général, les études existantes sur l'impact économique des changements climatiques ont été très limitées dans leur portée et leur couverture sectorielle. Des coûts de dommages plus élevés sont anticipés par des études de plus grande envergure, qui ont pris en compte les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes en plus des impacts des changements climatiques à

évolution lente, saisi les impacts sur de multiples secteurs, inclus les impacts non liés au marché et mesuré les impacts sur le bien-être des Canadiens (plutôt que les changements dans le PIB). Si les évaluations des coûts avaient une portée plus globale, les coûts estimés des changements climatiques pour le Canada seraient probablement beaucoup plus élevés que ce que suggèrent les études actuelles.

Les évaluations économiques des mesures d'adaptation au Canada montrent que les avantages dépassent généralement les coûts, bien que les résultats dépendent grandement du contexte. Sur un échantillon restreint de 60 évaluations de mesures (principalement dans le cadre municipal) visant à réduire les effets des inondations côtières, des faibles niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, de la réduction de l'approvisionnement en bois, du stress thermique et de la mauvaise qualité de l'air à Toronto, 75 % des mesures ont passé un test coûts-avantages. Le rapport médian avantages-coûts était de 5,6:1 (1,5:1), c'est-à-dire que chaque dollar dépensé pour la réduction des risques a généré, en moyenne, 5,60 \$ en avantages (voir la section 6.7.2). De tels rendements de capital investi dans l'adaptation sont cohérents avec l'expérience internationale.

Plusieurs observations peuvent être tirées des données probantes disponibles. Tout d'abord, parmi l'échantillon de mesures d'adaptation qui ont été évaluées, les mesures d'adaptation « douces » offraient un meilleur rapport qualité-prix que les mesures d'ingénierie « dures », principalement en raison des coûts d'investissement plus faibles et de la propension à offrir des avantages connexes plus importants. Un certain nombre de ces mesures sont également considérées comme des solutions fondées sur la nature, dans la mesure où ces mesures visent à renforcer et à protéger les écosystèmes existants. Deuxièmement, la performance économique des mesures d'adaptation dépend grandement du site et du contexte, de sorte qu'une mesure qui passe le test coûts-avantages à un endroit peut échouer à un autre endroit, et les résultats ne sont généralement pas transférables. Troisièmement, l'adaptation n'annule généralement pas tous les coûts liés aux changements climatiques, c'est-à-dire que certains coûts résiduels liés aux dommages persistent. Ce dernier point met en évidence les limites écologiques, technologiques et économiques potentielles de l'adaptation. Cela implique également que même avec un niveau d'adaptation efficace économiquement, les niveaux de bien-être peuvent rester inférieurs à ce qu'ils seraient en l'absence de changements climatiques. Le fait qu'un certain niveau de perte puisse être inévitable présente une série de défis éthiques et de justice sociale, exigeant des gouvernements qu'ils définissent ce qu'est un niveau acceptable de dommages résiduels et la meilleure façon de concilier les effets de ces impacts inévitables sur le bien-être.

Dans l'ensemble, les arguments économiques en faveur de l'adaptation semblent prometteurs, même si les données probantes sont incomplètes. Il reste encore beaucoup à apprendre sur les coûts et les avantages de l'adaptation aux changements climatiques actuels et futurs dans un plus grand nombre de secteurs (y compris le secteur privé), sur une plus grande gamme de risques et sur la nécessité d'envisager un ensemble plus large de mesures, notamment des instruments réglementaires et économiques. On sait peu de choses sur la répartition des coûts et des avantages de l'adaptation. Toutes les études actuelles examinées dans ce chapitre sont des évaluations prospectives des mesures d'adaptation largement hypothétiques qui pourraient, en principe, être adoptées. Aucun des résultats n'est issu d'évaluations rétrospectives des mesures mises en œuvre; les résultats sont donc plus représentatifs du « potentiel économique » théorique de l'adaptation, par opposition au « potentiel politique » qui est plus réaliste (voir la figure 6.11).

Étant donné la diversité des objectifs, des intérêts, des connaissances et des valeurs que les décideurs apportent désormais aux décisions en matière d'adaptation aux changements climatiques, il n'est pas suffisant de fournir des projections des coûts et des avantages financiers quantifiables. Il existe de nombreux outils économiques disponibles qui peuvent soutenir des évaluations multimétriques, bien que seules des formes simples de l'ACA traditionnelle aient été appliquées jusqu'à présent. Tout d'abord, il existe des approches permettant de saisir les impacts sur la répartition, les enjeux d'équité intergénérationnelle, les impacts connexes et les impacts non liés au marché dans les outils traditionnels comme l'ACA. Deuxièmement, l'économie offre un ensemble de nouvelles approches qui fonctionnent avec des outils traditionnels tels que l'ACA pour fournir un soutien utile à la prise de décisions en matière d'adaptation dans un contexte d'incertitude profonde, en incorporant l'échelonnement des mesures sur de longues périodes et le potentiel d'apprentissage. Chacun des outils disponibles présente des forces et des faiblesses uniques en fonction du contexte de la décision en matière d'adaptation et du niveau d'incertitude. Il n'existe pas de « meilleure » approche unique pour l'évaluation économique des mesures d'adaptation.

Le choix de l'outil ou des outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie peut être propre à chaque cas, mais la littérature recense plusieurs excellentes pratiques qui permettent de réaliser une bonne analyse économique, en particulier les suivantes : couvrir une large représentation d'impacts climatiques et biophysiques donnés, y compris les impacts extrêmes à déclenchement rapide et ceux à déclenchement lent; prendre en compte les évolutions socio-économiques prévues; envisager de multiples mesures d'adaptation « dures » et « douces », y compris l'analyse des obstacles à leur adoption efficace, et les interventions pour écartier ces obstacles; étudier les sources d'incertitude climatiques et non climatiques, y compris la prise en compte de l'échéancier et de l'échelonnement des mesures en utilisant de nouveaux outils d'aide à la prise de décisions en matière d'économie dans l'incertitude (p. ex. les profils d'évolution de l'adaptation, l'analyse des options réelles); l'analyse des coûts du cycle de vie (y compris les coûts de transaction) et des avantages dans le cadre le plus large possible des impacts liés au marché et non liés au marché; et l'analyse des impacts sur la répartition des populations vulnérables, les groupes défavorisés et les générations futures.

6.11 Références

- Ackerman, F. et Stanton, E. (2006). « Climate Change – the costs of inaction ». Rapport pour Friends of the Earth England, Wales and Northern Ireland. Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford, Massachusetts, 38 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <http://frankackerman.com/publications/climatechange/Climate_Change_Costs_Inaction.pdf>
- AGECO Group (2019). Vers de grandes villes résilientes: le coût de l'adaptation aux changements climatiques. Groupe AGECO, Montréal, Québec, 25 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://umq.qc.ca/wp-content/uploads/2019/05/adaptations-chgt-climat-caucus-gdes-viles-10mai19b.pdf>>
- Agence européenne pour l'environnement (2007). « Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation ». Rapport technique de l'AEE no 13/2007, Agence européenne pour l'environnement (AEE), Copenhague, Danemark, 67 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_13/at_download/file>
- Agrawala, S., Carraro, C., Bosello, F. et de Bruin, K. (2010). « Plan or react? Analysis of adaptation costs and benefits using integrated assessment models ». OECD Environment Working Papers, n° 23, Éditions OCDE, Paris, France. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1787/5km975m3d5hb-en>>
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C., De Cian, E., Lanzi, E., de Bruin, K. et Dellink, R.B. (2011). « Plan or react? Analysis of adaptation costs and benefits using Integrated Assessment Models ». *Climate Change Economics*, 2(3), 175–208. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1142/S2010007811000267>>
- Alder, M. (2016). « Benefit-cost analysis and distributional weights: an overview ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 264–285. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://scholarship.law.duke.edu/faculty_scholarship/3110>
- Amiraslany, A. (2010). « The impact of climate change on Canadian agriculture: a Ricardian approach ». Thèse de doctorat, Department of Bioresource Policy, Business and Economics, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, 169 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://harvest.usask.ca/handle/10388/etd-05252010-102012>>
- Aon (2020). « Weather, climate and catastrophic insight: 2019 annual report ». Aon plc, Chicago, Illinois, États-Unis, 80 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.aon.com/global-weather-catastrophe-natural-disasters-costs-climate-change-2019-annual-report/index.html?utm_source=regionemeau&utm_campaign=natcat20>
- Arrow, K.J., Cline, W.R., Maler, K.-G., Munasinghe, M., Squitieri, R. et Stiglitz, J.E. (1996). « Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency », Chapitre 5 dans *Climate Change 1995: Economic and social dimensions of climate change (Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, J.P. Bruce, H. Lee et E.F. Haites (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts, 125–144. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg3/#report-chapters>>
- Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G.M., Newell, R.G., Nordhaus, W.D., Pindyck, R.S., Pizer, W.A., Portney, P.R., Sterner, T., Tol, R.S.J. et Weitzman, M.L. (2012). « How should benefits and costs be discounted in an intergenerational context? The views of an expert panel ». Resources for the Future Discussion Paper No.12-53, Washington, D.C., 31 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2199511>
- Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G.M., Newell, R.G., Nordhaus, W.D., Pindyck, R.S., Pizer, W.A., Portney, P.R., Sterner, T., Tol, R.S.J. et Weitzman, M.L. (2014). « Should governments use a declining discount rate in project analysis? » *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(2), 145–163. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rev008>>
- Asian Development Bank (2015). « Economic analysis of climate-proofing investment projects ». Mandaluyong, Philippines, 85 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/173454/economic-analysis-climate-proofing-projects.pdf>>
- Aubé, M., Hébert, C., Wilson, J., Trenholm, R. et Patriquin, M. (2016). « Cost benefit analysis of climate change adaptation strategies for the Acadian Peninsula ». Green Analytics and the Coastal Zones Research Institute Inc., Shippagan, Nouveau Brunswick, 87 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://adaptationpa.ca/images/PDF_-_Progression/R-Cost_Benefit_Analysis_of_Climate_Change_Adaptation_Strategies.pdf>
- Ayouqi, H. et Vercammen, J. (2014). « Evaluating the impact of climate change on Canadian prairie agriculture ». Linking Environment and Agriculture Research Network (LEARN). Projet de recherche PR-01-2014, Université de la Colombie Britannique, Vancouver, 18 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://learnnetwork.ualberta.ca/wp-content/uploads/sites/70/2018/07/PR_01_2014_Ayouqi-Vercammen.pdf>
- Azfar, O. (1998). « Rationalizing hyperbolic discounting ». *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 38 (2), 245–252. Consulté en avril 2021 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0167-2681\(99\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0167-2681(99)00009-8)>

- Bain, P.G., Milfont, T.L., Kashima, Y., Bilewicz, M., Doron, G., Garðarsdóttir, R.B., Gouveia, V.V., Guan, Y., Johansson, L.-O., Pasquali, C., Corral-Verdugo, V., Aragones, J.I., Utsugi, A., Demarque, C., Otto, S., Park, J., Soland, M., Steg, L., González, R., Lebedeva, N., Madsen, O.J., Wagner, C., Akotia, C.S., Kurz, T., Saiz, J.L., Wesley Schultz, P., Einarsdóttir, G. et Saviolidis, N.M. (2015). « Co-benefits of addressing climate change can motivate action around the world ». *Nature Climate Change*, 6, 154–157. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2814>>
- Berry, P., Yassin, F., Belcher, K. et Lindenschmidt, K. E. (2017a). « An economic assessment of local farm multi-purpose surface water retention systems under future climate uncertainty ». *Sustainability*, 9(3), 456. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su9030456>>
- Berry, P., Yassin, F., Belcher, K. et Lindenschmidt, K. E. (2017b). « An economic assessment of local farm multi-purpose surface water retention systems in a Canadian Prairie setting ». *Applied Water Science*, 7(8), 4461–4478. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s13201-017-0592-7>>
- Biesbroek, G.R., Klostermann, J.E.M., Termeer, C.J.A.M. et Kabat, P. (2013). « On the nature of barriers to climate change adaptation ». *Regional Environmental Change*, 13, 1119–1129. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10113-013-0421-y>>
- Bloemen, P., Reeder, T., Zevenbergen, C., Rijke, J. et Kingsborough, A. (2018). « Lessons learned from applying adaptation pathways in flood risk management and challenges for the further development of this approach ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23, 1083–1108. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11027-017-9773-9>>
- Boardman, A.E., Moore, M.A. et Vining, A.R. (2008). « Social Discount Rates for Canada ». Université de la Colombie Britannique et Université Simon Fraser, Vancouver, 28 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/publication/236935295_The_Social_Discount_Rate_in_Canada>
- Bosello, F., Roson, R. et Tol, R. (2006). « Economy-wide estimates of the implications of climate change: human health ». *Ecological Economics*, 58, 579–591. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.032>>
- Bouwer, L.M. (2011). « Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 39–46. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1175/2010BAMS3092.1>>
- Boyd, R. (2018). « Economic impacts of climate change on municipalities: Edmonton case study ». Fédération canadienne des municipalités (FCM) Réseau de gestion des actifs et des changements climatiques, webinaire le 26 novembre.
- Boyd, R., Gados, A. et Maynes, T. (2013). « Economic guidance for the appraisal and prioritization of adaptation actions ». Rapport préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, Climate Change Central, Calgary, Alberta, 242 p.
- Boyd, R. et Walton, H. (2006). « Water resources », Chapitre 9 dans *Climate change impacts and adaptation: cross-regional research programme project*. Rapport par Metroeconomica Limited (UK) pour le Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Londres, Royaume-Uni. Consulté en août 2020 sur le site <<http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=13231>>
- Boyd, R., Zukiwsky, J. et Pringle, T. (2015). « Economic tools for climate adaptation: private real estate decisions ». Rapport préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, All One Sky Foundation, Calgary, Alberta, 139 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.retooling.ca/_Library/ReTooling_Resource_Library/Economic_Tools_for_Climate_Change_Adaptation.pdf>
- Boyer-Villemaire, U., Circé, M., Da Silva, L., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016). Analyses coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec et dans les provinces atlantiques : rapport synthèse. Ouranos, Montréal, 33 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Synth%C3%A8se_Atl-Qc.pdf>
- Braeuninger, M., Butzengeiger-Geyer, S., Dlugolecki, A., Hochrainer-Stigler, S., Koehler, M., Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R. et Michaelowa, A. (2011). « Application of economic instruments for adaptation to climate change ». Rapport final, Bruxelles, Belgique. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Michael_Braeuninger/publication/248399515_Application_of_economic_instruments_for_adaptation_to_climate_change_Final_report/links/53e0041b0cf2a768e49ea3dc/Application-of-economic-instruments-for-adaptation-to-climate-change-Final-report.pdf>
- Brown, C., Werick, W., Leger, W. et Fay, D. (2011). « A decision-analytic approach to managing climate risks: application to the Upper Great Lakes ». *Journal of the American Water Resources Association*, 47, 524–534. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00552.x>>
- Bureau d'assurance du Canada et Fédération canadienne des municipalités (2020). Investir dans l'avenir du Canada: le coût de l'adaptation au changement climatique. Toronto et Ottawa, Ontario, 59 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://data.fcm.ca/documents/reports/investir-dans-avenir-du-canada-le-cout-de-adaptation-au-climat.pdf>>
- Bureau d'assurance du Canada (2015) « The economic impacts of the weather effects of climate change on communities ». Bureau d'assurance du Canada, Toronto, Ontario, 201 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://assets.ibc.ca/Documents/Studies/IBC-The-Economic-Impacts.pdf>>

Bureau d'assurance du Canada (2018). Assurance de dommages au Canada 2018. Toronto, Ontario, 69 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2018/IBC-Fact-Book-2018-FR.pdf>

Bureau d'assurance du Canada (2019). Assurance de dommages au Canada 2019. Consulté en juin 2020 sur le site <http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2019/IBC-2019-Facts-FR.pdf>

Bureau du vérificateur général du Canada (2016). L'atténuation des effets du temps violent. Printemps 2016, Rapports du commissaire à l'environnement et au développement durable, Rapport 2, Ottawa, Ontario, 24 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201605_02_f_41381.html>

Burton, I. (2009). « Climate change and the adaptation deficit », dans *The Earthscan Reader on Adaptation to Climate Change*, L. Shipper et I. Burton (éd.). Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 480 p.

Bush, E. et Lemmen, D. (éd.) (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada, gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 448 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>>

Butsic, V., Hanak, E. et Valletta, R. (2011). « Climate change and housing prices: hedonic estimates for ski resorts in Western North America ». *Land Economics*, 87(1), 75–91. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3368/le.87.1.75>>

CCNUCC [Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques] (2007). « Investment and financial flows to address climate change ». CCNUCC, Secrétariat du changement climatique, Bonn, Allemagne, 262 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://unfccc.int/resource/docs/publications/financial_flows.pdf>

Chambwera, M., Heal, G., Dubeux, C., Hallegatte, S., Leclerc, L., Markandya, A., McCarl, B.A., Mechler, R. et Neumann, J.E. (2014). « Economics of adaptation » dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change)*, 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, États-Unis, 945–977. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap17_FINAL.pdf>

Chavillaz, Y., Roy, P., Partanen, A.-I., Da Silva, L., Bresson, É., Mengis, N., Chaumont, D. et Matthews, H.D. (2019). « Exposure to excessive heat and impacts on labour productivity linked to cumulative CO₂ emissions ». *Scientific Reports: Nature*, 9, 13711. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-50047-w>>

Cimato, F. et Mullan, M. (2010). « Adapting to climate change: analysing the role of government ». Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Londres, Royaume-Uni, 79 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69194/pb13341-analysing-role-government-100122.pdf>

Circé, M., Da Silva, L., Boyer-Villemaire, U., Duff, G., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016a). Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec – Rapport Synthèse. Ouranos, Montréal, 89 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Synth%C3%A8se_Qc.pdf>

Circé, M., Boyer-Villemaire, U., Da Silva, L. et Jardine, D. (2016b). Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec – Résultats Intégrés. Ouranos, Montréal, 24 p.

Ciscar, J.-C., Iglesias, A., Feyen, L., Szabó, L., Van Regemorter, D., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O.B., Dankers, R., Garrote, L., Goodess, C.M., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J. et Soria, A. (2011). « Physical and economic consequences of climate change in Europe ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1011612108>>

Cline, W.R. (2007). « Global warming and agriculture: impact estimates by country ». Peterson Institute of International Economics, Washington, D.C., 250 p.

Corbett, L.J., Withey, P., Lantz, V.A. et Ochudho, T.O. (2015). « The economic impact of the mountain pine beetle infestation in British Columbia: provincial estimates from a CGE analysis ». *Forestry*, 0, 1–6. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/forestry/cpv042>>

Coronense, M., Lampert, F., Kellerc, K., Chiaromonte, F. et Roventinia, A. (2019). « Evidence for sharp increase in the economic damages of extreme natural disasters ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 166(43), 21450–21455. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1907826116>>

Cropper, M.L., Freeman, M.C., Groom, B. et Pizer, W.A. (2014). « Declining discount rates ». *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 104(5), 538–543. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.104.5.538>>

Daigle, R. (2012). « Sea-level rise and flooding estimates for New Brunswick coastal sections ». Rapport commandé par Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique, géré par le Secrétariat du changement climatique, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick, Fredericton, Nouveau-Brunswick, 45 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/fr/islandora/object/acasa%253A569>>

- Damon, M., Mohlin, K. et Sterner, T. (2013). « Putting a price on the future of our children and grand-children », dans *The globalization of cost-benefit analysis in environmental policymaking*, M.A. Livermore et R.L. Revesz (éd.). Oxford University Press, New York, 352 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199934386.001.0001>>
- DaSilva, 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 août 2020 sur le site <<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDaSilva2019.pdf>>
- de Bruin, K. et Dellink, R. (2011). « How harmful are restrictions in adapting to climate change? » *Global Environmental Change*, 21(1), 34–45. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.09.008>>
- de Bruin, K. (2011). « Distinguishing between proactive (stock) and reactive (flow) adaptation ». Centre for Environmental and Resource Economics Working Paper (CERE) Working Papers 2011:8, Université d'Umeå, Umeå, Suède, 45 p. Consulté en mars 2021 sur le site <<http://doi.org/10.2139/ssrn.1854285>>
- de Bruin, K., Dellink, R. et Agrawala, S. (2009a). « Economic aspects of adaptation to climate change: Integrated Assessment Modelling of adaptation costs and benefits ». Documents de travail sur l'environnement de l'OCDE no 6, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), Paris, France, 48 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1787/225282538105>>
- de Bruin, K., Dellink, R.B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., de Groot, R.S., Kuikman, P.J., Reinhard, S., Roetter, R.P., Tassone, A., Verhagen, A. et van Ierland, E.C. (2009b) « Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives ». *Climatic Change*, 95, 23–45. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-009-9576-4>>
- Dell, M., Jones, B.F. et Olken, B.A. (2012). « Temperature shocks and economic growth - evidence from the last half century ». *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4, 66–95. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66>>
- Dell, M., Jones, B.F. et Olken, B.A. (2014). « What do we learn from the weather? The new climateeconomy literature ». *Journal of Economic Literature*, 52, 740–798. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/jel.52.3.740>>
- Dennig, F. (2018). « Climatic change and the re-evaluation of cost-benefit analysis ». *Climate Change*, 151, 43–54. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2047-4>>
- Dessai, S. et Hulme, M. (2007). « Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: a case study on water resources management in the East of England ». *Global Environmental Change*, 17(1), 59–72. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.11.005>>
- Dessai, S., Hulme, M., Lempert, R.J. et Pielke Jr, R. (2009). « Climate prediction: a limit to adaptation? » dans *Adapting to climate change: thresholds, values, governance*, W.N. Adger, I. Lorenzoni et K.L. O'Brien (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 49–57.
- Dessai, S., Lu, X. et Risbey, J.S. (2005). « On the role of climate scenarios for adaptation planning ». *Global Environmental Change*, 15, 87–97. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.004>>
- Diaz, D. et Moore, F. (2017). « Valuing Potential Climate Impacts: A Review of Current Limitations and the Research Frontier ». Mise à jour technique, ID du produit 3002011885. Electric Power Research institute (EPRI), Palo Alto, Californie, 36 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.epri.com/research/products/3002011885>>
- Directeur parlementaire du budget (2016). Estimation du coût annuel moyen des Accords d'aide financière en cas de catastrophe causée par un événement météorologique. Bureau du directeur parlementaire du budget, Ottawa, Ontario, 46 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2016/DFAA/DFAA_FR.pdf>
- Dittrich, R., Wreford, A. et Moran, D. (2016). « A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: are robust methods the way forward? » *Ecological Economics*, 122, 79–89. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.12.006>>
- Dorling, R. et Hanniman, K. (2016). « Restoring water levels on Lake Michigan-Huron: A cost benefit analysis ». Mowat Centre, Munk School of Global Affairs and Public Policy, Université de Toronto, Toronto, 74 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://munkschool.utoronto.ca/mowatcentre/wp-content/uploads/publications/120_restoring_water_levels_on_lake_michigan-huron.pdf>
- Dow, K., Berkhout, F., Preston, B.L., Klein, R.J.T., Midgley G. et Shaw, M.R. (2013). « Limits to Adaptation ». *Nature Climate Change*, 3, 305–307. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1847>>
- Downing, T.E. (2012). « Views of the frontiers in climate change adaptation economics ». *WIREs Climate Change*, 3(2), 161–170. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.157>>

- Drupp, M., Freeman, M., Groom, B. et Nesje, F. (2015). « Discounting disentangled: an expert survey on the determinants of the long-term social discount rate ». Document de travail 172. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, Londres, Royaume-Uni, 42 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/06/Working-Paper-172-Drupp-et-al.pdf>>
- Dunne, J.P., Stouffer, R.J. et John, J.G. (2013). « Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming ». *Nature Climate Change*, 3, 563–566. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate1827>>
- Ebi, K., Ogden, N., Semenza, J. et Woodward, A. (2017). « Detecting and attributing health burdens to climate change ». *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 085004. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1289/EHP1509>>
- Economics of Climate Adaptation (2009). « Shaping climate resilient development: a framework for decision-making ». Rapport par le Economics of Climate Adaptation (ECA) Working Group. Swiss Re, McKinsey, Global Environment Facility, Commission européenne, Rockefeller Foundation, Climate Works et Standard Chartered Bank, Zurich, Suisse, 159 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://ccsl.iccip.net/climate_resilient.pdf>
- Eisenack, K., Moser, S.C., Hoffman, E., Klein, R.J.T., Oberlack, C., Pechan, A., Rotter, M. et Termeer, C.J.A.M. (2014). « Explaining and overcoming barriers to climate change adaptation ». *Nature Climate Change*, 4, 867–872. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2350>>
- Ekstrom, J., Moser, S. et Torn, M. (2011). « Barriers to climate change adaptation: a diagnostic framework ». Rapport préparé pour la California Energy Commission. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, Californie. Consulté en août 2020 sur le site <http://www.susannemoser.com/documents/Ekstrom-Moser-Torn_2011_BarriersFrameworkReport_CEC-500-2011-004.pdf>
- Emploi et Développement social Canada (2018). Le stress thermique dans les lieux de travail: Guide 2018. Emploi et Développement social Canada, Ottawa, 30 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/emploi-developpement-social/services/sante-securite/rapports/stress-thermique-lieux-travail.html>>
- Epper, T., Fehr-Duda, H. et Bruhin, A. (2011). « Viewing the future through a warped lens: Why uncertainty generates hyperbolic discounting? » *Journal of Risk and Uncertainty*, 43, 169–203. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11166-011-9129-x>>
- Fankhauser, S. (2017). « Adaptation to climate change ». *Annual Review of Resource Economics*, 9(1), 209–230. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-033554>>
- Felgenhauer, T. et Webster, M. (2014). « Modeling adaptation as a flow and stock decision with mitigation ». *Climatic Change*, 122, 665–679. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-013-1016-9>>
- Filatova, T. (2013). « Market-based instruments for flood risk management: a review of theory, practice and perspectives for climate adaptation policy ». *Environmental Science and Policy*, 37, 227–242. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.005>>
- Filatova, T., Mulder, J. et van der Veen, A. (2011). « Coastal risk management: how to motivate individual economic decisions to lower flood risk? » *Ocean and Coastal Management*, 54, 164–172. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.10.028>>
- Floater, G., Heeckt, C., Ulterino, M., Mackie, L., Rode, P., Bhardwaj, A., Carvalho, M., Gill, D., Bailey, T. et Huxley, R. (2016). « Co-benefits of urban climate action: a framework for cities ». Document de travail du Economics of Green Cities Programme, LSE Cities, London School of Economics and Political Science, Londres, Royaume-Uni, 86 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://eprints.lse.ac.uk/68876/1/Cobenefits_Of_Urban_Climate_Action.pdf>
- Fleurbaey, M. et Rafeh, R. (2016). « The use of distributional weights in benefit-cost analysis: insights from welfare economics ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 286–307. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rew003>>
- Fussler, H.-M. (2003). « Impacts of climate change on human health — opportunities and challenges for adaptation planning ». Document de travail – EVA no 4. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Allemagne.
- Gall, M., Borden, K., Emrich, C. et Cutter, S. (2011). « The unsustainable trend of natural hazard losses in the United States ». *Sustainability*, 3, 2157–2181. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su3112157>>
- Georgeson, L., Maslin, M., Poessinouw, M. et Howard, S. (2016). « Adaptation responses to climate change differ between global megacities ». University College London, Londres, Royaume-Uni, 15 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1038/nclimate2944>>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2001). « Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability ». Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 1032 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf>

- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2012). « Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation ». Rapport spécial des Groupes de travail I et II du GIEC. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 582 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf>
- GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] (2013). Résumé à l'intention des décideurs, dans *Changements climatiques 2013 – les éléments scientifiques* (Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC), T. Stocker, T., 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, États-Unis, 3–29. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf>
- Girard, N. (2018). Communication personnelle avec Nicholas Girard, analyste en matière de politiques environnementales, Programme d'adaptation aux changements climatiques des Premières Nations, Direction des changements climatiques et de l'énergie propre, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada, Ottawa, Ontario.
- Global Commission in Adaptation (2019). « Adapt now: a global call for leadership on climate resilience ». Global Commission on Adaptation, 81 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf>
- Gouvernement britannique (2013). « The national adaptation programme: making the country resilient to a changing climate ». Gouvernement de Sa Majesté, The Stationery Office, Londres, Royaume-Uni, 182 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/727259/pb13942-nap-20130701.pdf>
- Gowdy, J. (2013). « Valuing nature for climate change policy: from discounting the future to truly social deliberation », dans *Handbook on energy and climate change*, R. Fouquet (éd.). Edward Elgar, Cheltenham, 752 p.
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T. et Ohlson, D. (2012). « Structured decision making: a practical guide to environmental management choices ». Wiley-Blackwell, Chichester, 315 p.
- Groom, B. et Maddison, D. (2018). « New estimates of the elasticity of marginal utility for the UK ». *Environmental and Resource Economics*, 72, 1–28. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10640-018-0242-z>>
- Grothmann, T. et Patt, A. (2005). « Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change ». *Global Environmental Change*, 15(3), 199–213. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002>>
- Haasnoot, M., Warren, A. et Kwakkel, J.H. (2018). « Dynamic adaptive policy pathways (DAPP) », dans *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, V. Marchau et coll. (éd.). Springer Open Access, Cham, Suisse, 71–91. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.springerprofessional.de/content/pdfid/16610888/10.1007/978-3-030-05252-2_4?canonical=https%3A%2F%2Fwww.springerprofessional.de%2Fen%2Fdynamic-adaptive-policy-pathways-dapp%2F16610888%3Ffulltextview%3Dtrue>
- Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E. et ter Maat, J. (2013). « Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world ». *Global Environmental Change*, 23(2), 485–498. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.006>>
- Haigh, N. et Fisher, J. (2010). « Using a “Real Options” approach to determine a future strategic plan for flood risk management in the Thames Estuary ». Document de travail du Government Economic Service. Trésor de Sa Majesté, Londres, Royaume-Uni.
- Hallegatte, S. (2013). « The indirect cost of natural disasters and an economic definition of macroeconomic resilience ». Impact Appraisal for Sovereign Disaster Risk Financing and Insurance Project: Phase 1 Public Finance and Macroeconomics, Paper 3. Réseau de développement durable, Bureau de l'économiste en chef, Banque mondiale, Washington, D.C., 35 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/22238/The0indirect0c0oeconomic0resilience.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>
- Hallegatte, S. (2014). « Trends in hazards and the role of climate change ». dans *Natural disasters and climate change*. Springer, Cham, Suisse, 77–97.
- Hallegatte, S., Shah, A., Lempert, R., Brown, C. et Gill, S. (2012). « Investment Decision Making Under Deep Uncertainty: Application to Climate Change ». Documents de travail de recherche sur les politiques 6193. Banque mondiale, Washington, D.C., 41 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1596/1813-9450-6193>>
- Halsnæs, K., Shukla, P., Ahuja, D., Akumu, G., Beale, R., Edmonds, J., Gollier, C., Grübler, A., Ha Duong, M., Markandya, A., McFarland, M., Nikitina, E., Sugiyama, T., Villavicencio A. et Zou, J. (2007). « Framing issues », dans *Climate Change 2007: Mitigation* (Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 118–167 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-chapter2-1.pdf>>
- Hamilton, J., Maddison, D. et Tol, R. (2005). « Climate change and international tourism: a simulation study ». *Global Environmental Change*, 15(3), 253–266. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.009>>

- Heal, G. et Millner, A. (2013). « Uncertainty and decision in climate change economics ». Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, document de travail no 108, London School of Economics, Londres, Royaume-Uni, 24 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/ret023>>
- Heal, G. et Park, J. (2016). « Temperature stress and the direct impact of climate change: a review of an emerging literature ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 1–17. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rew007>>
- Hope, C. (2011). « The PAGE09 integrated assessment model: A technical description ». Série de documents de travail 4/2011, Judge Business School, Université de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni, 40 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/research/workingpapers/wp1104.pdf>
- Hope, E., McKenney, D., Pedlar, J., Stocks, B. et Gauthier, S. (2015). « Wildfire suppression costs for Canada under a changing climate ». *PLoS ONE*, 11(8), e0157425. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157425>>
- Hotte, N. et Nelson, H. (2015). « Economic instruments for adaptation to climate change in forestry ». Rapport préparé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver, Colombie-Britannique. Consulté en août 2020 sur le site <<http://harry-w-nelson-forestry.sites.olt.ubc.ca/files/2015/06/Final-Report-Economic-Instruments-for-Adaptation-to-Climate-Change-June-2-2015.pdf>>
- Howard, P. et Sylvan, D. (2015). « Expert Consensus on the Economics of Climate Change ». Institute of Policy Integrity, New York University School of Law, New York, New York, 31 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.edf.org/sites/default/files/expertconsensusreport.pdf>>
- Hunt, A. (2009). « Economic aspects of climate change impacts and adaptation in the UK ». Thèse de doctorat, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni.
- IBI Group (2015a). « Benefit-cost analysis of flood mitigation projects for the City of Calgary: Glenmore Reservoir diversion ». Rapport préparé pour le gouvernement de l'Alberta par le IBI Group, Calgary, Alberta, 9+ p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/publications/benefit-cost-analysis-of-flood-mitigation-projects-for-the-city-of-calgary-glenmore-reservoir>>
- IBI Group (2015b). « Benefit-cost analysis of flood mitigation projects for the City of Calgary: Springbank off-stream flood storage ». Rapport préparé pour le gouvernement de l'Alberta par le IBI Group, Calgary, Alberta, 10+ p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/dataset/ca7f0d55-e9bc-4efa-8657-9f6014c85f45/resource/e80f53f7-7fd6-45f4-abd7-4ad85d7fd07e/download/springbank-benefit-cost.pdf>>
- IBI Group (2015c). « Benefit-cost analysis of flood mitigation projects for the City of Calgary: McLean Creek flood storage ». Rapport préparé pour le gouvernement de l'Alberta par le IBI Group, Calgary, Alberta, 10+ p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://open.alberta.ca/dataset/33e478fc-1c01-428c-90c7-365e898d969d/resource/58cde7b5-3795-4c25-ba9b-978ef4047ed7/download/mclean-creek-benefit-cost.pdf>>
- Jenkins, G. et Kuo, C.-Y. (2007). « The economic opportunity cost of capital for Canada—an empirical update ». Document de travail no 1133 du département d'économie de l'Université Queen's. Department of Economics, Université Queen's, Kingston, Canada, 25 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.econ.queensu.ca/sites/econ.queensu.ca/files/qed_wp_1133.pdf>
- Jeuland, M. et Whittington, D. (2013). « Water resources planning under climate change: assessing the robustness of real options for the Blue Nile ». *Water Resources Research*, 50, 22 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/2013WR013705>>
- Johansson-Stenman, O. (2005). « Distributional weights in cost-benefit analysis—should we forget about them? ». *Land Economics*, 81(3), 337–352. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.jstor.org/stable/4129689>>
- Jones, C.I. et Klenow, P.J. (2016). « Beyond GDP? Welfare across countries and time ». *American Economic Review*, 106, 2426–2457. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.20110236>>
- Jones, R.N., Patwardhan, A., Cohen, S.J., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R.J., Mirza, M.M.Q. et von Storch, H. (2014). « Economics of adaptation » dans *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects (Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change)*. C.B. Field (éd.). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, États-Unis, 195–228. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap2_FINAL.pdf>
- Kahn, M.E. (2016). « The Climate Change Adaptation Literature ». *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 166–178. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/reep/rev023>>

- Kahn, M.E., Mohaddes, K., Ng, R.N.C., Hashem Pesaran, M., Raissi, M. et Yang, J.-C. (2019). « Longterm macroeconomic effects of climate change: a cross-country analysis ». Document de travail du FMI (WP/19/215), Fonds monétaire international (FMI), Washington, D.C., 58 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2019/wp19215-print-pdf.ashx>>
- Kim, B. et Zauberman, G. (2009). « Perception of anticipatory time in temporal discounting ». *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 2, 91–101. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1037/a0017686>>
- Kjellstrom, T., Holmer, I. et Lemke, B. (2009). « Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change ». *Global Health Action*, 2. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>>
- Kjellstrom, T., Lemke, B. et Otto, M. (2013). « Mapping occupational heat exposure and effects in SouthEast Asia: Ongoing time trends 1980–2011 and future estimates to 2050 ». *Industrial Health*, 51(1), 56–67. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2486/indhealth.2012-0174>>
- Kjellstrom, T., Lemke, B., Matthias Otto, P., Hyatt, O.M., Briggs, D.J. et Freyberg, C.A. (2015). « Heat impacts on work, human performance and daily life », dans *Climate Change and Public Health*, B. Levy et J. Patz (éd.). Oxford University Press, New York, 73–86. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/med/9780190202453.003.0004>>
- Kjellstrom, T., Maître, N., Saget, C., Otto, M. et Karimova, T. (2019). Travailler sur une planète plus chaude: L'impact du stress thermique sur la productivité du travail et le travail décent. Organisation internationale du Travail, Genève, Suisse, 103 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_737037/lang-fr/index.htm>
- Klein, R.J.T., Midgley, G.F., Preston, B.L., Alam, M., Berkhout, F.G.H., Dow, K. et Shaw, M.R. (2014). « Adaptation opportunities, constraints and limits », 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, États-Unis, 899–943. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap16_FINAL.pdf>
- Kompass, T., Pham, V. et Che, T. (2018). « The effects of climate change on GDP by country and global economic gains from complying with the Paris Accord ». *Earth's Future*, 6, 1153–1173. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1029/2018EF000922>>
- Kousky, C. (2012). « Informing climate adaptation: a review of the economic costs of natural disasters, their determinants, and risk reduction options ». RFF DP 12–28. Resources for the Future, Washington, D.C., 62 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2099769>>
- Kousky, C. (2014). « Managing shoreline retreat: a US perspective ». *Climatic Change*, 124, 9–20. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1106-3>>
- Kovats, S., Lloyd, S., Hunt, A. et Watkiss, P. (2011). « Technical Policy Briefing Note 5: The Impacts and Economic Costs on Health in Europe and the Costs and Benefits of Adaptation ». Résultats du EC RTD ClimateCost Project, dans *The ClimateCost Project, Final Report, Volume 1: Europe*, P. Watkiss (éd.). Institut de Stockholm pour l'environnement, Stockholm, Suède. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.sei.org/mediamanager/documents/Publications/sei-climatecost-health.pdf>>
- Lafakis, C., Ratz, L., Fazio, E. et Cosma, M. (2019). « The economic implications of climate change ». Moody's Analytics, Londres, Royaume-Uni 13 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://ma.moody's.com/rs/961-KCJ-308/images/2019-08-08-Climate-Change.pdf>>
- Lantz, V., Trenholm, R., Wilson, J. et Richards, W. (2012). « Assessing market and non-market costs of freshwater flooding due to climate change in the community of Fredericton, Eastern Canada ». *Climatic Change*, 110(1–2), 347–372. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0063-3>>
- Larrivée, C., Desjarlais, C., Roy, R. et Audet, N. (2016). Étude économique régionale des impacts potentiels des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent dus aux changements climatiques et des options d'adaptation. Rapport soumis à Ressources naturelles Canada, Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques et au gouvernement du Québec, Ouranos, Montréal, 38 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/ACA-GLSL_Synthese_2016_FR.pdf>
- Larrivée, C., Sinclair-Désjagné, N., Da Silva, L., Revéret, J.P. et Desjarlais, C. (2015). Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois. Rapport d'étude, Ouranos, Montréal, 58 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/2016/03/RapportLarrivee2015_FR-1.pdf>
- Lecocq, F. et Shalizi, Z. (2007). « Balancing expenditures on mitigation of adaptation to climate change: an exploration of issues relevant to developing countries ». Série de documents de travail de recherche sur les politiques 4299. Banque mondiale, Washington, D.C., 42 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/7487/wps4299.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

- Lempert, R.J. (2014). « Embedding (some) benefit-cost concepts into decision support processes with deep uncertainty ». *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5(3), 487–514. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1515/jbca-2014-9006>>
- Lempert, R.J., Kalra, N., Peyraud, S., Mao, Z. et Tan, S.B. (2013). « Ensuring robust flood risk management in Ho Chi Minh City ». Document de travail de recherche sur les politiques 6465. Banque mondiale, Washington, D.C., 63 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Dean_Cira/publication/255698092_Ensuring_Robust_Flood_Risk_Management_in_Ho_Chi_Minh_City/links/54e3223e0cf2d90c1d9bfff24/Ensuring-Robust-Flood-Risk-Management-in-Ho-Chi-Minh-City.pdf>
- Lempert, R., Arnold, J., Pulwarty, R., Gordon, K., Greig, K., Hawkins Hoffman, C., Sands, D. et Werrell, C. (2018). « Reducing Risks Through Adaptation Actions », dans *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*, D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., États-Unis, 1309–1345. Consulté en août 2020 sur le site <https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_Ch28_Adaptation_Full.pdf>
- Li, J., Mullan, M. et Helgeson, J. (2014). « Improving the practice of economic analysis of climate change adaptation ». *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5(3), 445–467. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1515/jbca-2014-9004>>
- Markandya, A. (2019). « Natural Capital and the Rate of Discount », dans *Mainstreaming Natural Capital and Ecosystem Services into Development Policy*, P. Kumar (éd.). Routledge Taylor and Francis, Londres, Royaume-Uni.
- Markandya, A., Galarraga, I. et Sainz de Murieta, S. (éd.) (2014). « Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation ». Routledge International Handbooks, Abingdon, Royaume-Uni, 464 p.
- Martinich, J., DeAngelo, B.J., Diaz, D., Ekwurzel, B., Franco, G., Frisch, C., McFarland, J. et O'Neill, B. (2018). « Reducing risks through emissions mitigation », dans *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II*, D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., États-Unis, 1346–1386. Consulté en août 2020 sur le site <https://nca2018.globalchange.gov/downloads/NCA4_Ch29_Mitigation_Full.pdf>
- Mendelsohn, R. (2012). « The economics of adaptation to climate change in developing countries ». *Climate Change Economics*, 3(2), 1250006. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1142/S2010007812500066>>
- Metroeconomica (2004). « Costing the impacts of climate change in the UK: Implementation report ». Lignes directrices préparées pour le United Kingdom Climate Impacts Program. Oxford, Royaume-Uni, 373 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/Costings_Implementation.pdf>
- Meyer, V., Gebhardt, O. et Alves, F.A. (éd.) (2015). « Economic evaluation of adaptation options ». Bottom-up Climate Adaptation Strategies Towards a Sustainable Europe (BASE Project). Ecologic Institute, Berlin, Allemagne, 547 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://base-adaptation.eu/sites/default/files/Deliverable_5_2_FINAL.pdf>
- Miller, S., Muir-Wood, R. et Boissonade, A. (2008). « An exploration of trends in normalized weatherrelated catastrophe losses », dans *Climate Extremes and Society*, H.F. Diaz et R.J. Murnane (éd.). Cambridge University Press, New York, 383 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1017/CBO9780511535840.015>>
- Millerd, F. (2005). « The economic impact of climate change on Canadian commercial navigation on the Great Lake ». *Canadian Water Resources Journal*, 30(4), 269–280. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.4296/cwrj3004269>>
- Moser, S.C. et Ekstrom, J.A. (2010). « A framework to diagnose barriers to climate change adaptation ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 107(51), 22026–22031. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>>
- Moss, R., Scarlett, P.L., Kenney, M.A., Kunreuther, H., Lempert, R., Manning, J., Williams, B.K., Boyd, J.W., Cloyd, E.T., Kaatz, L. et Patton, L. (2014). « Decision support: Connecting science, risk perception, and decisions », Chapitre 26 dans *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J.M. Melillo, T.C. Richmond et G.W. Yohe (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., 620–647. Consulté en août 2020 sur le site <<https://data.globalchange.gov/file/3b8af927-bb15-4eac-8107-860e65e6fc6c>>
- Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H. et Osman, H. (2018). Lutter contre la hausse du coût des inondations au Canada : L'infrastructure naturelle est une option sous-utilisée. Rapport préparé pour le Bureau d'assurance du Canada. Centre intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo, Waterloo, Ontario, 66 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://assets.abc.ca/Documents/Resourses/IBC-Natural-Infrastructure-Report-2018-FR.pdf>>
- Munich RE (2018). « TOPICS Geo natural catastrophes 2017: a stormy year ». Munich RE, Munich, Allemagne, 64 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.munichre.com/content/dam/munichre/global/content-pieces/documents/TOPICS_GEO_2017-en.pdf/jcr_content/renditions/original.media.file.download_attachment.file/TOPICS_GEO_2017-en.pdf>

- Munich RE (2020). « NatCatSERVICE ». Munich Re. Consulté en mai 2020 sur le site <<https://natcatservice.munichre.com>>
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (2016). « Attribution of extreme weather events in the context of climate change ». The National Academies Press, Washington, D.C., 186 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/21852>>
- National Centres for Environmental Information (2020). « NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters ». Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.ncdc.noaa.gov/billions/>>
- National Research Council (2009). « Informing decisions in a changing climate ». Panel on Strategies and Methods for Climate-Related Decision Support, Committee on the Human Dimensions of Global Change. Division of Behavioral and Social Sciences and Education, The National Academies Press, Washington, D.C., 188 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/12626>>
- National Research Council (2010). « Informing an Effective Response to Climate Change ». The National Academies Press, Washington, DC., 346 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.17226/12784>>
- Neumayer, E. et Barthel, F. (2011). « Normalizing economic loss from natural disasters: a global analysis ». *Global Environmental Change*, 21(1), 13–24. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.10.004>>
- Newell, R.G. et Pizer, W.A. (2003). « Discounting the distant future: How much do uncertain rates increase valuations? » *Journal of Environmental Economics and Management*, 46, 52–71. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1016/S0095-0696\(02\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0095-0696(02)00031-1)>
- Newell, R.G., Prest, B.C. et Sexton, S.E. (2018). « The GDP-temperature relationship: implications for climate change damages ». RFF WP 18–17, Resources for the Future, Washington, D.C., 61 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.rff.org/documents/2655/RFF_WP-18-17_rev_10-20.pdf>
- Nordhaus W.D. (2007). « A review of the “Stern Review on the Economics of Climate Change.” » *Journal of Economic Literature*, 45, 686–702. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/jel.45.3.686>>
- Nordhaus, W.D. et Boyer, J. (2000). « Warming the world: economic modeling of global warming ». Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, 258 p.
- Ochuodho, T.O. et Lantz, V.A. (2015). « Economic impact of climate change on agricultural crops in Canada by 2051: a global multi-regional CGE model analysis ». *Environmental Economics*, 6(1), 113–125. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.businessperspectives.org/index.php/component/zoo/economic-impacts-of-climate-change-on-agricultural-crops-in-canada-by-2051-a-global-multi-regional-cge-model-analysis>>
- Ochuodho, T.O., Lantz, V.A., Lloyd-Smith, P. et Benitez, P. (2012). « Regional economic impacts of climate change and adaptation in Canadian forests: a CGE modeling analysis ». *Forest Policy and Economics*, 25, 100–112. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.08.007>>
- Organisation de coopération et de développement économiques (2015). Les conséquences économiques du changement climatique. Publications de l’OCDE, Paris, 140 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://dx.doi.org/10.1787/9789264261082-fr>>
- Organisation pour l’alimentation et l’agriculture (2007). « Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: perspective, framework and priorities ». Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture, Rome, Italie, 24 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.preventionweb.net/files/8342_j9271e1.pdf>
- Paci, D. (éd.) (2014). « Human Health Impacts of Climate Change in Europe ». Rapport pour le PESETA II Project, JRC Technical Reports, Séville, Espagne, 28 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2791/64481>>
- Parnham, H., Arnold, S. et Fenech, A. (éd.) (2016). « Using cost-benefit analysis to evaluate climate change adaptation options in Atlantic Canada ». Rapport soumis à la Division des impacts et de l’adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 90 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%253A779>>
- Patt, A. G., van Vuuren, D. P., Berkhout, F., Aaheim, S., Hof, A. F., Isaac, M. et Mechler, R. (2010). « Adaptation in integrated assessment modeling: where do we stand? ». *Climatic Change*, 99, 383–402. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-009-9687-y>>
- Penning-Rowsell, E.C., Haigh, N., Lavery, S. et McFadden, L. (2013). « A threatened world city: the benefits of protecting London from the sea ». *Natural Hazards*, 66, 1383–1404. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-011-0075-3>>
- Perrin, A., Dion, J., Eng, S., Sawyer, D., Nodelman, J. R., Comer, N., Auld, H., Sparling, E., Harris, M., Nodelman, J.Y.H. et Kinnear, L. (2015). « Economic implications of climate change adaptations for mine access roads in Northern Canada ». Northern Climate Exchange, Centre de recherche du Yukon, Collège du Yukon, 93 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.yukonu.ca/sites/default/files/inline-files/Economic_Implications_TCWR_FINAL_web3.pdf>

- Pielke, R.A. Sr, Wilby, R., Niyogi, D., Hossain, F., Dairuku, K., Adegoke, J., Kallos, G., Seastedt, T. et Suding, K. (2012). « Dealing with complexity and extreme events using a bottom-up, resource-based vulnerability perspective », dans *Extreme events and natural hazards: the complexity perspective*. Geophysical Monograph Series 196, 345–359. Consulté en août 2020 sur le site <<https://pielkeclimatesci.files.wordpress.com/2012/10/r-3651.pdf>>
- Pielke, R.A., Jr. (2007). « Mistreatment of the economic impacts of extreme events in the Stern Review Report on the Economics of Climate Change ». *Global Environmental Change*, 17, 302–310. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.05.004>>
- Pielke, R.A., Jr., Gratz, J., Landsea, C.W., Collins, D., Saunders, M.A. et Musulin, R. (2008). « Normalized hurricane damages in the United States: 1900–2005 ». *Natural Hazards Review*, 9(1), 29–42. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2008\)9:1\(29\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:1(29))>
- Pielke, R.A., Jr., Rubiera, J., Landsea, C., Fernández, M.L. et Klein, R. (2003). « Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: normalized damages and loss potentials ». *Natural Hazards Review*, 4(3), 101–114. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(101\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(101))>
- Porter, J., Dessai, S. et Tompkins, E. (2014). « What do we know about UK household adaptation to climate change? A systematic review ». *Climatic Change*, 127, 371–379. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1252-7>>
- Productivity Commission (2012). « Barriers to effective climate change adaptation, Report No. 59, Final Inquiry Report ». Productivity Commission, Canberra, Australie, 385 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.pc.gov.au/inquiries/completed/climate-change-adaptation/report/climate-change-adaptation.pdf>>
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (2011). « A practical framework for developing pro-climate development policy ». Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Nairobi, Kenya, 142 p.
- PROVIA (2013). « PROVIA guidance on assessing vulnerability, impacts and adaptation to climate change ». Document de consultation. Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Nairobi, Kenya, 198 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/provia-guidance-nov2013.pdf>>
- Randall, A., Capon, T., Sanderson, T., Merrett, D. et Hertzler, G. (2012). « Choosing a decision-making framework to manage uncertainty in climate adaptation decision-making: A practitioner's handbook ». National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast, Australie, 25 p. Consulté en mai 2020 sur le site <https://www.nccarf.edu.au/sites/default/files/attached_files_publications/Randall_2012_Practitioner_handbook.pdf>
- Ranger, N., Millner, A., Dietz, S., Fankhauser, S., Lopez, A. et Ruta, G. (2010). « Adaptation in the UK: a decision-making process ». Exposé de politique. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, Londres, Royaume-Uni, 61 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/adaptation-in-the-uk-a-decision-making-process/>>
- Ranger, N., Reeder, T. et Lowe, J. (2013). « Addressing 'deep' uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: four innovations of the Thames Estuary 2100 Project ». *EURO Journal of Decision Process*, 1, 233–262. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s40070-013-0014-5>>
- Ratti, M. (2017). « The economics of natural disasters: an overview of the current research issues and methods ». Document de travail du CERE 2017:3, Centre for Environmental and Resource Economics, Université d'Umeå. Consulté en décembre 2020 sur le site <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2957459>>
- Reeder, T. et Ranger, N. (2011). « How do you adapt in an uncertain world? Lessons from the Thames Estuary 2100 project ». World Resources Report, Uncertainty Series. World Resources Institute, Washington, D.C., 16 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/uploads/wrr_reeder_and_ranger_uncertainty.pdf>
- Reinsborough, M.J. (2003). « A Ricardian model of climate change in Canada ». *Canadian Journal of Economics*, 36(1), 21–40. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/1540-5982.00002>>
- Revesz, R.L., Howard, P.H., Arrow, K., Goulder, L.H., Kopp, R.E., Livermore, M.A., Oppenheimer, M. et Sterner, T. (2014). « Global warming: Improve economic models of climate change ». *Nature*, 508, 173–175. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.nature.com/news/global-warming-improve-economic-models-of-climate-change-1.14991>>
- Rhodium Group (2014). « American climate prospectus: economic risks in the United States ». Rhodium Group, New York, New York, 201 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://rhg.com/research/american-climate-prospectus-economic-risks-in-the-united-states/>>
- Rodgers, C. et Douglas, A. (2015). « Cost benefit analysis of climate change impacts and adaptation measures for Canadian mines: final report ». Rapport soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa, 36 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://www.climateontario.ca/doc/p_ECCC/1-AP261-FinalReport-FINAL.PDF>

Rose, A., Porter, K., Dash, N., Bouabid, J., Huyck, C., Whitehead, J., Shaw, D., Eguchi, R., Taylor, C., McLane, T., Thomas Tobin, L., Ganderton, P.T., Godschalk, D., Kiremidjian, A.S., Tierney, K. et West, C. (2007). « Benefit-cost analysis of FEMA hazard mitigation grants ». *Natural Hazards Review*, 8(4), 97–111. Consulté en août 2020 sur le site <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2007\)8:4\(97\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2007)8:4(97))>

Roson, R. et Sartori, M. (2016). « Estimation of climate change damage functions for 140 regions in the GTAP9 database ». Document de travail de recherche sur les politiques no 7728, Groupe de la Banque mondiale, Washington, D.C., 40 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24643>>

Rosenzweig, C. et Solecki, W. (2014). « Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: lessons from a first-responder city ». *Global Environmental Change*, 28, 395–408. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.05.003>>

Rouillard, J., Tröltzsch, J., Tarpey, J., Lago, M., Watkiss, P., Hunt, A., Bosello, F., Ermolieva, T., Goodess, C., Mechler, R., Parrado, R., Sainz de Murieta, E. et Scussolini, P. (2016a). « The economic analysis of climate adaptation: insights for policy-makers ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 45 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://econadapt.eu/sites/default/files/docs/Deliverable%2010-3.pdf>>

Rouillard, J., Tröltzsch, J., Lago, M., Markandya, A., Sainz de Murieta, E. et Galarraaga, I. (2016b). « Distributional objectives and monetary metrics ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 60 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.ecologic.eu/14384>>

Schipper, L. et Pelling, M. (2006). « Disaster risk, climate change and international development: Scope for, and challenges to, integration ». *Disasters*, 30, 19–38. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00304.x>>

Schmidt, S., Kemfert, C. et Hoppe, P. (2009). « Tropical cyclone losses in the USA and the impact of climate change—a trend analysis based on data from a new approach to adjusting storm losses ». *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 359–369. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.03.003>>

Scussolini, P., Kuik, O., Veldkamp, T., Hudson, P., Sainz de Murieta, E., Galarraaga, I., Kaprová, K., Melichar, J., Lago, M., Rouillard, J., Tröltzsch, J., Hunt, A., Skourtos, M., Goodess, C. et Christensen, O. (2015). « The economic appraisal of adaptation investments under uncertainties: policy recommendations, lessons learnt and guidance ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 37 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://econadapt.eu/sites/default/files/docs/Deliverable%206-4%20approved%20for%20publishing.pdf>>

SCT [Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada] (2018). Politiques sur l'analyse de coûts-avantages. Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, Ontario. Consulté en avril 2021 sur le site <<https://www.canada.ca/fr/gouvernement/systeme/lois/developpement-amelioration-reglementation-federale/exigences-matiere-elaboration-gestion-examen-reglements/lignes-directrices-outils/politique-analyse-couts-avantages.html>>

SCT [Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada] (2007). Guide d'analyse coûts-avantages. Révisé en septembre 2018., Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada Ottawa, Ontario, 47 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.tbs-sct.gc.ca/rtrap-parfa/analys/analys-fra.pdf>>

Sécurité publique Canada (2020). Base de données canadienne sur les catastrophes (BDC). Consulté en mai 2020 sur le site <<https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrscs/cndn-dsstr-dtbs/index-fr.aspx>>

Settle, C. et Shogren, J. (2004). « Hyperbolic discounting and time inconsistency in a native exotic species conflict ». *Resource and Energy Economics*, 26, 255–274. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2003.11.010>>

Smith, A.B. et Katz, R. (2013). « U.S. billion-dollar weather and climate disasters: data sources, trends, accuracy and biases ». *Natural Hazards*, 67, 387–410. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0566-5>>

Sozou, P. (1998). « On hyperbolic discounting and uncertain hazard rates ». *Proceedings of the Royal Society*, 265(1409), 2015–2020. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0534>>

Squire, L. et van der Tak, H. (1975). « Economic analysis of projects ». Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland, États-Unis, 153 p.

Stern N. (2008). « The economics of climate change ». *The American Economic Review*, 98, 1–37. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.98.2.1>>

Stern, N. (2006). « The economics of climate change: Stern review ». Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 662 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm>

Stern, N. (2013). « The structure of economic modeling of the potential impacts of climate change: grafting gross underestimation of risk onto already narrow science models ». *Journal of Economic Literature*, 51(3), 838–859. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/jel.51.3.838>>

Sussman, F., Krishnan, N., Maher, K., Miller, R., Mack, C., Stewart, P., Shouse, K. et Perkins, B. (2014). « Climate change adaptation cost in the US: What do we know? » *Climate Policy*, 14(2), 242–282. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/14693062.2013.777604>>

Swart, R.J. et Singh, T. (2013). « Mediation and the adaptation challenge: identifying appropriate methods and tools to support climate change adaptation decision making ». Alterra, Université et centre de recherche de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas, 32p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://www.rec.org/publication.php?id=392>>

Swiss Re Institute (2018). « Sigma, natural catastrophes and man-made disasters in 2017: a year of record-breaking losses ». Sigma No 1/2018. Swiss Re Institute, Zurich, Suisse, 53 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2018-01.html#:~:text=sigma%20research-sigma%201%2F2018%3A%20Natural%20catastrophes%20and%20man%2Dmade%20disasters,recorded%20in%20a%20single%20year>>

Swiss Re Institute (2019). « Sigma, natural catastrophes and man-made disasters in 2018: secondary perils on the frontline ». Sigma No 2/2019. Swiss Re Institute, Zurich, Suisse, 30 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.swissre.com/dam/jcr:c37eb0e4-c0b9-4a9f-9954-3d0bb4339bfd/sigma2_2019_en.pdf>

Swiss Re Institute (2020). « Natural catastrophes in times of economic accumulation and climate change ». Swiss Re Sigma N0 2/2020. Swiss Re Institute, Zurich, Suisse, 31 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/sigma-2020-02.html>>

TRNEE [Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie] (2011). « Paying the price: the economic impacts of climate change for Canada ». Ottawa, Ontario, 162 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://nrt-trn.ca/wp-content/uploads/2011/09/paying-the-price.pdf>>

Thistlethwaite, J., Minano, A., Blake, J.A., Henstra, D. et Scott, D. (2018). « Application of re/insurance models to estimate increases in flood risk due to climate change ». *Geoenvironmental Disasters*, 8(8), 13 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1186/s40677-018-0101-9>>

Tröltzsch, J., Rouillard, J., Tarpey, J., Lago, M., Watkiss, P. et Hunt, A. (2016). « The economics of climate change adaptation: insights into economic assessment methods ». ECONADAPT project, Université de Bath, Bath, Royaume-Uni, 42 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://econadapt.eu/sites/default/files/docs/Deliverable%2010-2.pdf>>

Urge-Vorsatz, D., Tirado-Herrero, S. et Dubash, N. (2014). « Measuring the co-benefits of climate change mitigation ». *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 549–582. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031312-125456>>

USAID (2015). « Methods for economic analysis of climate change adaptation interventions ». Washington, D.C., 60 p. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://www.climate-links.org/sites/default/files/asset/document/Methods%2520of%2520Economic%2520Analysis_CLEARED.pdf>

US Environmental Protection Agency (2007). « Guide to resource planning with energy efficiency ». A resource of the national action plan for energy efficiency, US Environmental Protection Agency, Washington, DC., 81 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/resource_planning.pdf>

US Environmental Protection Agency (2015). « Climate change in the United States: benefits of global action ». US Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, EPA 430R15001. Washington, DC. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.epa.gov/cira/downloads-cira-report>>

US Environmental Protection Agency (2017). « Multi-model Framework for Quantitative Sectoral Impacts Analysis: A Technical Report for the Fourth National Climate Assessment ». EPA 430R17001. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC., 271 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=537327&Lab=OAP>

US Global Change Research Program (2018). « Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II », D.R. Reidmiller, C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock et B.C. Stewart (éd.). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC., 1515 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://doi.org/10.7930/NCA4.2018>>

Van der Geest, K. et Warner, K. (2015). « Editorial: loss and damage from climate change: emerging perspectives ». *International Journal of Global Warming*, 8(2), 133–140. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.071964>>

van der Pol, T.D., van Ierland, E. et Weikard, H.-P. (2013). « Optimal dike investments under uncertainty and learning about increasing water levels ». *Journal of Flood Risk Management*, 7(4), 308–318. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1111/jfr3.12063>>

Vanos, J., Vecellio, D.J. et Kjellstrom, T. (2019). « Workplace heat exposure, health protection, and economic impacts: a case study in Canada ». *American Journal of Industrial Medicine*, 62(12), 1024–1037. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/ajim.22966>>

Vivid Economics (2013). « The macroeconomics of climate change ». Rapport préparé pour le Department for Environment, Food and Rural Affairs du Royaume-Uni, Londres, Royaume-Uni. 95 p. Consulté en août 2020 sur le site <http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=11138_TheMacroeconomicsOfClimateChangeFinalReportMay2013.pdf>

- Wallimann-Helmer, I., Meyer L., Mintz-Woo K., Schinko T. et Serdeczny O. (2019). « The ethical challenges in the context of climate loss and damage », dans *Loss and damage from climate change*, R. Mechler, L. Bouwer, T. Schinko, S. Surminski et J. Linnerooth-Bayer (éd.). « Climate Risk Management, Policy and Governance ». Springer Open, Cham, Suisse, 39–62. Consulté en août 2020 sur le site <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72026-5_2>
- Walker, W.E., Haasnoot, M. et Kwakkel, J. H. (2013). « Adapt or perish: a review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty ». *Sustainability*, 5, 955–979. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.3390/su5030955>>
- Wang, W. et McCarl, B. (2011). « Temporal investment in climate change adaptation and mitigation ». *Climate Change Economics*, 4(2), 1350009. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1142/S2010007813500097>>
- Warren, R., Andrews, O., Brown, S., Forstenhaeusler, N., Gernaat, D., Goodwin, P., Harris, I., He, H., Hope, C., Gonzalez-Colon, F., Nicholls, R., Osborn, T., Price, J., Van Vuuren, D. et Wright, R. (2018). « Risks associated with global warming of 1.5°C or 2°C ». Note d'information, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia. Consulté en décembre 2020 sur le site <https://tyndall.ac.uk/sites/default/files/publications/briefing_note_risks_warren_r1-1.pdf>
- Watkiss, P. (2015). « A review of the economics of adaptation and climate-resilient development ». Document de travail no 205 du Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics, Londres, Royaume-Uni, 41 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2015/09/Working-Paper-205-Watkiss.pdf>>
- Watkiss, P., Hunt, A., Blyth, W. et Dyszynski, J. (2015). « The use of new economic decision support tools for adaptation assessment: a review of methods and applications, towards guidance on applicability ». *Climatic Change*, 132(3), 401–416. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1007/s10584-014-1250-9>>
- Watkiss, P. et Hunt, A. (2013). « Method overview: decision support methods for adaptation. Briefing Note 1. Summary of methods and case study examples from the MEDIATION Project ». Alterra, Université et centre de recherche de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas, 18 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.sei.org/mediamanager/documents/Publications/sei-mediation-briefing1-method-overview.pdf>>
- Watkiss, P., Hunt, A. et Savage, M. (2014). « Early value for money adaptation toolkit: delivering value-for-money adaptation with iterative frameworks and low-regret options ». Department for International Development (DFID) du Royaume-Uni, Londres, Royaume-Uni, 118 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a089a9ed915d622c00033b/Early_VfM_Adaptation_Final_Report.pdf>
- Weaver, C.P., Lempert, R.J., Brown, C., Hall, J.A., Revell, D. et Sarewitz, D. (2013). « Improving the contribution of climate model information to decision making: The value and demands of robust decision frameworks ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(1), 39–60. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wcc.202>>
- Weber, M. et Hauer, G. (2003). « A regional analysis of climate change impacts on Canadian agriculture ». *Canadian Public Policy*, 29(2), 163–180. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.2307/3552453>>
- Weiland, S. et Tröltzsch, J. (éd.) (2015). « BASE evaluation criteria for climate adaptation. Bottom-up Climate Adaptation Strategies Towards a Sustainable Europe (BASE Project) ». Ecologic Institute, Berlin, Allemagne, 134 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://base-adaptation.eu/sites/default/files/BASE_Policy_3_June_2015_0.pdf>
- Weitzman M.L. (2007). « A review of the Stern Review on the Economics of Climate Change ». *Journal of Economic Literature*, 45, 703–724. Consulté en août 2020 sur le site <<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.45.3.703>>
- Weitzman, M.L. (2001). « Gamma discounting ». *American Economic Review*, 91(1), 261–271. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1257/aer.91.1.260>>
- Wilby, R. et Dessai, S. (2010). « Robust adaptation to climate change ». *Weather*, 65, 180–185. Consulté en décembre 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1002/wea.543>>
- Wilby, R. (2012). « Frameworks for delivering regular assessments of the risks and opportunities from climate change ». Examen indépendant de la première UK Climate Change Risk Assessment. Rapport final à l'intention du Committee on Climate Change, Londres, Royaume-Uni.
- Willows, R. et Connell, R. (éd.) (2003). « Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making ». Rapport technique du UKCIP, United Kingdom Climate Impacts Programme, Oxford, Royaume-Uni, 154 p. Consulté en août 2020 sur le site <<http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/2969/1/N002969CR.pdf>>
- Wilson, J., Trenholm, R., Bornemann, J. et Lieske, D. (2012). « Forecasting economic damages from storm surge flooding: a case study in the Tantramar Region of New Brunswick ». Rapport préparé pour Solutions d'adaptation aux changements climatiques pour l'Atlantique par Green Analytics et le département de géographie et d'environnement. Université Mount Allison, Sackville, Nouveau-Brunswick, 59 p. Consulté en août 2020 sur le site <<https://atlanticadaptation.ca/en/islandora/object/acasa%253A722>>
- Wise, R.M., Fazey, I., Stafford Smith, M., Park, S.E., Eakin, H.C., Archer Van Garderen, E.R.M. et Campbell, B. (2014). « Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response ». *Global Environmental Change*, 28, 325–336. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002>>

Withey, P., Lantz, V. et Ochuodho, T. (2016). « Economic costs and impacts of climate-induced sea-level rise and storm surge in Canadian coastal provinces: a CGE approach ». *Applied Economics*, 48(1), 59–71. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1073843>>

Withey, P., Ochuodho, T. et Lantz, V. (2015). « The economic impact of the mountain pine beetle infestation in British Columbia: Provincial estimates from a CGE analysis ». *Forestry*, 89(1), 100–105. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1093/forestry/cpv042>>

Woodward, M., Gouldby, B., Kapelan, Z., Khu, S.-T. et Townend, I. (2011). « Incorporating real options into flood risk management decision-making ». HR Wallingford, Wallingford, Royaume-Uni, 10 p. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/lan_Townend/publication/279476752_Incorporating_real_options_into_flood_risk_management_decision_making/links/55cb0f9508aeb975674a62f9/Incorporating-real-options-into-flood-risk-management-decision-making.pdf>

Zhai, F., Lin, T. et Byambadorj, E. (2009). « A general equilibrium analysis of the impact of climate change on agriculture in the People's Republic of China ». *Asian Development Review*, 26(1), 206–225. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.researchgate.net/profile/Fan_Zhai3/publication/227488886_A_General_Equilibrium_Analysis_of_the_Impact_of_Climate_Change_on_Agriculture_in_the_People's_Republic_of_China/links/547706780cf2778985b0a0a1/A-General-Equilibrium-Analysis-of-the-Impact-of-Climate-Change-on-Agriculture-in-the-Peoples-Republic-of-China.pdf>

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 températures 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, Ontario, 112–193. Consulté en août 2020 sur le site <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_Chapitre4-Les%20changements%20de%20tempe%CC%81rature%20et%20de%20pre%CC%81cipitations%20au%20Canada-1.pdf>

Zivin, J. et Neidell, M. (2014). « Temperature and the allocation of time: Implications for climate change ». *Journal of Labor Economics*, 32(1), 1–26. Consulté en août 2020 sur le site <<https://doi.org/10.1086/671766>>

6.12 Annexes

Annexe 6.1 : Résumé de certaines études nationales et régionales sur les conséquences économiques des changements climatiques pour certains secteurs sensibles au climat au Canada

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Foresterie				
TRNEE (2011) (nationale et provinciale ou territoriale)	<p>Changement de la température annuelle moyenne au Canada d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +3,4 °C) et forts (SRES A2 du GIEC; +3,6 °C)</p> <p>Croissance du PIB du Canada d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de croissance lente (+1,3 % par an) et de croissance rapide (+3,0 % par an)</p>	<p>Impacts sur l'offre de bois résultant des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies, et des changements dans la productivité des forêts</p> <p>Changements dans le PIB projeté par rapport au scénario de référence « sans changements climatiques » (à l'aide du modèle IEG)</p>	<p>Étendue des pertes annuelles de PIB en dollars non actualisés de 2008 (et variation du PIB en %) d'ici 2050 pour le Canada dans le cadre d'un scénario de faibles changements climatiques–à croissance lente et d'un scénario de forts changements climatiques–à croissance rapide :</p> <p>de 2,4 à 17,4 milliards de dollars (de 0,12 à 0,33 %)</p>	<p>Étendue des pertes annuelles de PIB en dollars non actualisés de 2008 (et variation du PIB en %) d'ici 2050 pour des provinces et territoires donnés dans le cadre d'un scénario de faibles changements climatiques–à croissance lente et d'un scénario de forts changements climatiques–à croissance rapide :</p> <ul style="list-style-type: none">Alb. : de 0,2 à 1 milliards de dollars (de -0,06 à -0,14 %)Canada atlantique : de 0,1 à 0,5 milliards de dollars (de 0,07 à -0,21 %)C.-B. : de 0,5 à 3,1 milliards de dollars (de -0,18 à -0,44 %)Man., Sask., Nt, T.N.-O. et Yn : de 0,5 à 3,3 \$ milliards de dollars (de -0,33 % à -0,85 %)



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
TRNEE (2011) (nationale et provinciale ou territoriale) (continué)			Pertes totales de PIB en valeur actuelle ¹ pour la période de 2010 à 2080 à un taux d'actualisation de 3 % : de 25 à 176 milliards de dollars	<ul style="list-style-type: none">• Ont. : de 0,1 à 7,4 milliards de dollars (de 0,11 à 0,31 %)• Qc : de 0,3 à 2,1 milliards de dollars (de -0,08 à 0,23 %)

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Ochuodho et coll. (2012) (nationale et provinciale ou territoriale)	<p>Scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +3,4 °C) et forts (SRES A2 du GIEC; +3,6 °C) (TRNEE, 2011)</p> <p>Croissance du PIB du Canada selon la TRNEE (2011) jusqu'en 2080 :</p> <ul style="list-style-type: none"> croissance lente = +1,3 % par an croissance rapide = +3,0 % par an. 	<p>Impacts pessimistes (pire cas) et optimistes (meilleur cas) sur l'offre de bois résultant des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies, et des changements dans la productivité des forêts</p> <p>Changements (par rapport au scénario de référence « sans changements climatiques ») dans les valeurs projetées de la production sectorielle, du PIB et du bien-être (variation compensatoire) à l'aide du modèle IEG</p>	<p>Étendue des pertes totales en valeur actualisée au Canada pour la période de 2010 à 2080 dans le cadre du scénario optimiste de faibles changements climatiques–croissance lente, et du scénario pessimiste de forts changements climatiques–croissance rapide (en dollars de 2008 à un taux d'actualisation de 3 %) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Production du secteur : de 6 à 707 milliards de dollars PIB : de 4 à 459 milliards de dollars Bien-être : de 3 à 296 milliards de dollars 	<p>Étendue des pertes totales en valeur actualisée pour des provinces et territoires donnés pour la période de 2010 à 2080 dans le cadre du scénario optimiste à faibles changements climatiques–croissance lente, et du scénario pessimiste à forts changements climatiques–croissance rapide (en dollars de 2008 à un taux d'actualisation de 3 %) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Alb. : de 1 à 21 milliards de dollars Canada atlantique : de >1 à 15 milliards de dollars C.-B. : de 3 à 66 milliards de dollars Ont. : de -1 à +209 milliards de dollars Qc : de -3 à +76 milliards de dollars Reste du Canada : de 4 à 72 milliards de dollars <p>Dans certains des cas ci-dessus, les gains en productivité compensent les pertes dues aux incendies et aux ravageurs.</p>

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Hope et coll. (2015) ² (nationale et provinciale ou territoriale, à l'exception des provinces de l'Atlantique, du Nunavut et des parcs nationaux)	Changement de la somme sur quatre mois (mai à août) de l'indice d'humidité climatique (IHC) projeté par quatre modèles de circulation générale dans les conditions RCP2.6 et RCP8.5, par rapport à la normale climatique pour la période de 1961 à 1990 Scénario socio-économique statique (c.-à-d. que les coûts de suppression sont constants en valeur actualisée)	Changements de la superficie brûlée en fonction des changements projetés de l'IHC Changements dans les coûts de suppression des incendies, fixes et variables (par rapport aux coûts encourus entre 1980 et 2009), en fonction des changements prévus dans la superficie brûlée	Coûts annuels moyens totaux de suppression des incendies ³ (en dollars de 2009) d'ici les années 2080, par rapport à la période de 1980 à 2009 : <ul style="list-style-type: none"> Dans le cadre du RCP2.6 : 625 millions de dollars (ou +60 %) Dans le cadre du RCP8.5 : 640 millions de dollars (ou +119 %) 	Les deux provinces les plus touchées en termes de variation en % des coûts de suppression des incendies d'ici les années 2080, par rapport à la période de 1980 à 2009 : <ul style="list-style-type: none"> Dans le cadre du RCP2.6 : Alb. (+141 %) et Sask. (+218 %) Dans le cadre du RCP8.5 : Alb. (+195 %) et Sask. (+265 %)
Corbett et coll. (2015) (C.B.)	Pas de scénario d'émissions à proprement parler, mais une projection des possibilités annuelles de coupe en ColombieBritannique en cas d'infestation par le dendroctone du pin ponderosa (diminution de 32 % sur 50 ans) Croissance économique prévue de 33 % pour la Colombie-Britannique au cours de la période de 2009 à 2054	Impact des infestations de dendroctone du pin ponderosa sur l'approvisionnement en bois en ColombieBritannique Changements de bien-être prévus (variation compensatoire) et d'indicateurs macroéconomiques provinciaux par rapport à la situation de référence, en utilisant le modèle IEG	Sans objet	Valeur actualisée des pertes totales pour la ColombieBritannique au cours de la période de 2009 à 2054 (en dollars actuels, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> PIB : 57 milliards de dollars (baisse de 1,3 % par an) Bien-être : 90 milliards de dollars



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Agriculture				
Weber et Hauer (2003) (nationale et provinciale)	Exécution unique du modèle MCCGII (Centre canadien de la modélisation et de l'analyse du climat) couvrant la période de 1950 à 2070 (remarque : les changements précis de température et de précipitation n'ont pas été fournis) Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée pour la période de 1995 à 1996 (les conditions de base sont statiques)	Impacts des anomalies de température et de précipitations mensuelles et trimestrielles projetées (moyenne sur 30 ans pour la période de 2021 à 2051) sur la valeur statique des terres agricoles de 1995 à 1996 et sur le rendement des terres agricoles à l'aide d'un modèle ricardien, avec prix fixes	Projection des gains induits par les changements climatiques dans la valeur des terres agricoles au Canada (moyenne sur l'ensemble du pays) en dollars de 1995 par hectare : 1 485 \$ Équivaut à une augmentation de 16 % du PIB agricole national de 1995, soit 32 milliards de dollars (en supposant que les rendements soient annualisés à un taux d'actualisation de +4,7 %)	Projection des gains induits par le les changements climatiques dans la valeur des terres agricoles par province en dollars de 1995 par hectare (et variation du PIB agricole provincial en %) : <ul style="list-style-type: none">• Alb. : 1 675 \$ (+23 %)• C.-B. : 1 145 \$ (+7 %)• Man. : 1 425 \$ (+17 %)• Ont. : 2 215 \$ (+5 %)• Qc : 1 460 \$ (+4 %)• N.-B. : 1 225 \$ (+6 %)• T.-N.-L. : 570 \$ (+1 %)• N.-É. : 775 \$ (+5 %)• Î.-P.-É. : 800 \$ (> 0 %)• Sask. : 1 555 \$ (+38 %)



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Reinsborough (2003) (nationale)	Augmentation prévue de la température annuelle moyenne de 2,8 °C dans l'ensemble du Canada et augmentation des précipitations annuelles moyennes de 8 % (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée pour la période de 1995 à 1996 (les conditions de base sont statiques)	Impacts d'une augmentation uniforme de la température et des précipitations (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) sur la valeur statique des terres agricoles de 1995 à 1996, en utilisant un modèle ricardien avec prix fixes	Projection des gains induits par les changements climatiques dans la valeur des terres agricoles au Canada (total pour l'ensemble du pays) en dollars de 1995 : de +0,9 à 1,5 million de dollars Négligeable par rapport au PIB agricole national de 1995, qui atteint 32 milliards de dollars	Non pris en compte



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Ochuodho et Lantz (2015) (nationale et provinciale ou territoriale)	Scénario d'émissions basé sur les changements dans les rendements des cultures et la valeur des terres agricoles pour la période de 2006 à 2051, dérivé de Weber et Hauer (2007) et de Cline (2007) Scénario de référence de la croissance économique prévue (sans changements climatiques) pour la période de 2006 à 2051	Impacts des changements climatiques sur les rendements des cultures Changements (dans le scénario d'émissions par rapport au scénario de référence) dans le bien-être projeté (variation compensatoire) et les indicateurs macroéconomiques provinciaux et territoriaux estimés à l'aide d'un modèle IEG multirégional, incluant les États-Unis et le reste du monde	Variation en % entre la valeur actuelle du PIB total du Canada pour la période de 2006 à 2051 et le scénario de base, à un taux d'actualisation de 4 % : +1,7 %	Variation en % de la valeur actuelle du PIB total provincial ou territorial et du bien-être, respectivement, pour la période de 2006 à 2051 : <ul style="list-style-type: none"> • Alb. : +2,5 %, +1,9 % • C.-B. : +6,3 %, +5,6 % • Man. : +1,3 %, -0,1 % • T.-N.-L. : +2,5 %, -0,1 % • N.-É. : +1,4 %, +1,2 % • N.-B. : +1,5 %, -0,4 % • Ont. : +1,0 %, -0,65 • Qc : +0,5 %, +0,2 % • Î.-P.-É. : +0,8 %, -1,1 % • Sask. : +0,5 %, -0,5 % • T.N.-O., Nt et Yn : +0,4 %, 0,1 %



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Zhai et coll. (2009) (nationale)	<p>Scénario d'émissions basé sur les changements dans les rendements des cultures, avec et sans les effets de la fertilisation par le carbone, dérivé de Cline (2007) pour la période de 2010 à 2020</p> <p>Scénario de référence d'une croissance mondiale moyenne prévue du PIB de +3,1 % (de 2010 à 2050) et +2,5 % (de 2050 à 2080)</p>	<p>Impacts des changements climatiques sur les rendements du riz paddy, du blé, d'autres céréales et les rendements d'autres cultures</p> <p>Changements (dans le scénario d'émissions par rapport au scénario de référence) dans le PIB prévu, le bien-être (variation équivalente) et la production du secteur agricole, estimés à l'aide d'un modèle IEG de l'économie mondiale</p>	<p>Impact des changements climatiques sur le bien-être et quelques indicateurs macroéconomiques pour le Canada, en pourcentage de changement entre le scénario prévu en 2080 et le scénario de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bien-être : +0,2 % • PIB : -0,2 % • Ententes commerciales : +0,8 % • Production du secteur (cultures) : +22,1 % • Production du secteur (bétail) : -15,3 % • Production du secteur (aliments transformés) : 1,6 % 	Sans objet



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Amiraslany (2010) (provinces des Prairies)	<p>Augmentations présumées de la température annuelle moyenne (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) dans les Prairies de +1,05 °C (2020), de +2,19 °C (2050) et de +3,26 °C (2080), et changements des précipitations (en millimètres par jour) de +0,016 (2020), de +0,116 (2050) et de +0,186 (2080)</p> <p>Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée à partir des données de 1991, de 1996 et de 2001 (les conditions de base sont statiques)</p>	<p>Impacts d'une augmentation uniforme de la température et des précipitations (par rapport à la norme pour la période de 1961 à 1990) sur la valeur statique des terres agricoles, en utilisant un modèle ricardien</p> <p>Le modèle a également inclus les impacts des changements prévus sur les prix du blé et du canola en fonction des changements climatiques de +5 % d'ici 2020, de +15 % d'ici 2050 et de +25 % d'ici 2080.</p>	Sans objet	<p>Changement moyen prévu, dû aux changements climatiques, de la valeur des terres agricoles dans l'ensemble de l'Alberta, du Manitoba et de la Saskatchewan, y compris le changement des prix et de la superficie plantée en dollars de 1996 par hectare (et le changement en pourcentage) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2020 : + 145 \$ (+15 %) • 2050 : + 385 \$ (+40 %) • 2080 : + 505 \$ (+50 %) <p>Des diminutions de la valeur des terres sont prévues dans certaines régions du Sud-Est de l'Alberta pour toutes les périodes futures.</p>



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Ayouqi et Vercammen (2014) (provinces des Prairies)	<p>Changements prévus des températures et des précipitations sur la base du scénario d'émissions SRES A2 du GIEC (à partir du modèle MCCG uniquement) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Température annuelle moyenne : +1,3 °C (années 2020), +2,6 °C (années 2050) et +4,1 °C (années 2080). Précipitations annuelles moyennes : +5 % (années 2020), +12 % (années 2050) et +17 % (années 2080) <p>Modèle ricardien de la valeur des terres agricoles estimée à partir des données de 1991, de 1996, de 2001, de 2006 et de 2011 (les conditions de base sont statiques)</p>	<p>Impacts d'une augmentation uniforme de la température et des précipitations (par rapport à la norme pour la période de 1971 à 2000) sur la valeur statique des terres agricoles (en utilisant un modèle ricardien)</p> <p>Le modèle a également inclus les impacts des changements prévus dans les prix du blé, du canola, de la luzerne, de l'orge et du bétail en fonction des changements climatiques : +5 % d'ici 2020, +15 % d'ici 2050 et +25 % d'ici 2080.</p>	Sans objet	<p>Changement moyen prévu de la valeur des terres agricoles en raison des changements climatiques, y compris les changements de prix et de superficie plantée, en Alberta, au Manitoba et en Saskatchewan (en dollars de 2002), selon la spécification du modèle ricardien utilisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> Années 2020 : de +1,1 à 1,7 milliard de dollars par an Années 2050 : de +1,9 à 2,7 milliards de dollars par an Années 2080 : de +1,9 à 4,1 milliards de dollars par an <p>4,1 milliards de dollars, soit l'équivalent de 35 % du PIB agricole des Prairies en 2011 (11,7 milliards de dollars en 2002)</p>

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Zones côtières				
Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) (2011) (nationale et provinciale ou territoriale)	Élévation du niveau de la mer d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +28cm) et élevés (SRES A2 du GIEC; +29cm) Croissance du PIB du Canada d'ici 2050 dans le cadre des scénarios de croissance lente (+1,3 % par an) et de croissance rapide (+3,0 % par an)	Impacts des inondations permanentes dues à l'élévation du niveau de la mer et des inondations temporaires dues aux ondes de tempête par rapport au scénario de référence « sans changements climatiques » Valeur marchande des logements perdus et coûts directs de réparation et de remplacement des biens endommagés	Coûts annuels des inondations côtières au Canada attribuables aux changements climatiques d'ici 2050 (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none">Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 0,9 milliard de dollarsScénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 8,1 milliards de dollars Coût total des inondations en valeur actualisée pour la période de 2011 à 2100 (à un taux d'actualisation de 3 %) : de 109 à 379 milliards de dollars	Gamme des coûts annuels des inondations côtières attribuables aux changements climatiques d'ici 2050 (en dollars de 2008) pour des provinces et territoires donnés, selon les deux scénarios de changements climatiques : <ul style="list-style-type: none">C.-B. : de 840 à 7 645 millions de dollarsMan. : de 0 à 2 millions de dollarsQc : de 5 à 55 millions de dollarsN.-B. : de 10 à 225 millions de dollarsT.-N.-L. : de 7 à 80 millions de dollarsN.-É. : de -10 à -110 millions de dollarsNt : de 20 à 165 millions de dollarsÎ.-P.-É. : de 4 à 55 millions de dollars En Nouvelle-Écosse, des maisons sont abandonnées et non reconstruites (comme dans le cas de référence), d'où les économies de coûts.

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Withey et coll. (2016) (nationale et provinciale ou territoriale)	Impacts en termes de dommages directs de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête pour les années 2050, dans le cadre des scénarios de changements climatiques SRES B1 et A2 du GIEC (TRNEE, 2011) Croissance économique prévue dans sept régions côtières au cours de la période de 2009 à 2054	Impacts en termes de dommages directs des inondations sur les habitations et sur les terres agricoles et forestières dus à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête par rapport au scénario de référence, avec des dommages dans les conditions climatiques actuelles Changements de bien-être prévus (variation compensatoire) et d'indicateurs macroéconomiques provinciaux ou territoriaux par rapport à la situation de référence, en utilisant un modèle IEG	Pertes totales en valeur actualisée pour la période de 2009 à 2054 pour le Canada dans le cadre des scénarios SRES B1 et A2 du GIEC, par rapport aux pertes cumulées dans les conditions climatiques actuelles (en dollars de 2008 et à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> • PIB : de 10 à 70 milliards de dollars • Bien-être : de >1 à 25 milliards de dollars 	Valeur actualisée des pertes totales sur le PIB provincial ou territorial dans le cadre des mêmes scénarios (en dollars de 2008, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> • C.-B. : de 8 à 60 milliards de dollars • N.-B. : de >1 à 2 milliards de dollars • T.-N.-L. : de -1 à 2 milliards de dollars • N.-É. : de 0 à 1 milliard de dollars • Î.-P.-É. : de 0 à >1 milliard de dollars • Qc : de >1 à 8 milliards de dollars • Nt, T.N.-O. et Yn : de >1 à 3 milliards de dollars

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
<p>Boyer-Villemaire et coll., (2016); Circé et coll., (2016a); Parnham et coll., (2016)</p> <p>(Canada atlantique et Québec)</p>	<p>Scénario d'élévation du niveau de la mer pour la période de 2015 à 2064 basé sur le RCP8.5; le scénario d'érosion est basé sur une extrapolation linéaire des taux d'érosion dans le passé; le scénario d'inondation est basé sur les périodes de récurrence prévues pour les inondations</p> <p>Scénario socio-économique statique (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation</p>	<p>Impacts directs de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière</p> <p>Coûts directs des dommages causés aux infrastructures, aux bâtiments et aux terres; pertes directes dues à l'interruption des activités et à la perturbation du trafic; coûts de l'intervention et du rétablissement; gamme d'impacts non liés au marché (p. ex. perte de milieux naturels, perte de patrimoine culturel, déclin de l'utilisation à des fins récréatives)</p>	<p>Sans objet</p>	<p>Coûts directs totaux en valeur actualisée pour 11 sites d'étude de cas, englobant 46 segments côtiers du Québec et du Canada atlantique (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) : 1,2 milliard de dollars</p> <p>Gamme des coûts directs en valeur actualisée par segment côtier (sur l'ensemble des 46 segments) : de 0 à 705 millions de dollars</p> <p>Coûts directs médians en valeur actualisée pour l'ensemble des 46 segments : 1 million de dollars</p>



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Wilson et coll., (2012) (région de Tantramar dans le Sud- Est du N.B.)	Scénario d'inondation par onde de tempête avec changements climatiques selon Daigle (2012) Scénario socio-économique statique (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation	Impact des changements climatiques sur les inondations dues aux ondes de tempête Dommages directs aux bâtiments résidentiels, commerciaux, industriels et publics et à leurs contenus; dommages directs aux véhicules; pertes directes en termes de production agricole	Sans objet	Coûts annuels anticipés ⁴ (en dollars de 2000) : <ul style="list-style-type: none">• 2000 : 1,5 million de dollars• 2025 : 1,7 million de dollars• 2055 : 2,2 millions de dollars• 2085 : 3,1 millions de dollars Coûts annuels totaux en valeur actualisée pour la période de 2000 à 2100 (en dollars de 2000, à un taux d'actualisation de 4 %) : 60 millions de dollars



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Santé				
L'arrivée et coll. (2015) (Québec)	<p>Pour les risques liés à la chaleur : températures extrêmes et fréquences médianes de l'ensemble des simulations CMIP5 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5</p> <p>Pour les autres résultats sanitaires pris en compte : impacts biophysiques éclairés par la littérature</p> <p>Scénario socio-économique statique (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation</p>	<p>Morbidité et mortalité liées au stress thermique, aux maladies à transmission vectorielle (maladie de Lyme et virus du Nil occidental) et aux aéroallergènes (pollen)</p> <p>Dépenses publiques liées à la santé, paiements pour les jours perdus pour cause de maladie, coûts médicaux privés</p> <p>Mortalité prématurée évaluée au moyen de la valeur d'une vie statistique = 3,6 millions de dollars</p>	Sans objet	<p>Coûts totaux en valeur actualisée pour le gouvernement du Québec pour la période de 2015 à 2064 (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) (moyenne, 10° et 90° percentiles) :</p> <ul style="list-style-type: none">Stress thermique (370 millions de dollars, de 245 à 515 millions de dollars)Maladie de Lyme (60 millions de dollars, de 40 à 95 millions de dollars)Virus du Nil occidental (35 millions de dollars, aucun)Pollen (360 millions de dollars, de 290 à 430 millions de dollars) <p>Pour la société, les coûts totaux moyens en valeur actualisée sont (y compris le coût de la mortalité prématurée) :</p> <ul style="list-style-type: none">Stress thermique (33 milliards de dollars)Maladie de Lyme (745 millions de dollars)Virus du Nil occidental (835 millions de dollars)Pollen (475 millions de dollars)



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Niveaux d'eau (faible débit)				
L'arrivée et coll. (2016) (fleuve Saint-Laurent, Québec)	Deux scénarios hydrologiques pour le fleuve Saint-Laurent entre la frontière Québec-Ontario et Trois-Rivières (Québec) pendant la période de 2015 à 2064 : 1) écoulements annuels critiques progressivement atteints d'ici les années 2040, se rétablissant partiellement par la suite; 2) écoulements inférieurs au scénario de référence en été et en automne d'ici 2020 Scénario socio-économique statique basé sur des données historiques (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation	Impact des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent sur le transport maritime, le traitement des eaux municipales, les services écologiques et la pêche, la navigation de plaisance et le tourisme, la production d'hydroélectricité et la valeur des propriétés riveraines	Sans objet	Total des coûts directs en valeur actualisée pour la période de 2015 à 2064 (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none">• Capacité de transport perdue : de 40 à 210 millions de dollars• Ventes d'eau perdues : >0,1 million de dollars• Valeur d'usage et revenus perdus provenant de la pêche : 3 220 millions de dollars• Valeur perdue des jours de navigation : de 65 à 75 millions de dollars• Ventes d'hydroélectricité perdues : de 50 à 90 millions de dollars• Réduction de la valeur des propriétés riveraines : 70 millions de dollars



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Dorling et Hanniman (2016) (lac Michigan- Huron)	Niveau d'eau moyen prévu pour la période de 2041 à 2060 à partir du scénario pour 2050 envisagé par le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCmaC 2050); valeurs pour les autres années de la période de 2015 à 2064 basées sur une interpolation linéaire Scénario socio-économique statique basé sur des données historiques (c.-à-d. sans croissance) et sans nouvelles mesures d'adaptation	Impact des bas niveaux d'eau du lac Michigan-Huron (niveaux prévus par rapport à la moyenne annuelle pour la période de 1918 à 2014) sur la navigation commerciale et les ports, le tourisme et les activités nautiques récréatives, la production d'hydroélectricité et la valeur des propriétés riveraines	Sans objet	Total des coûts directs en valeur actualisée pour la période de 2015 à 2064 (en dollars de 2012, à un taux d'actualisation de 4 %) : <ul style="list-style-type: none"> • Coûts supplémentaires d'entretien portuaire : 90 millions de dollars • Capacité d'expédition perdue : 1 840 millions de dollars • Coûts de dragage supplémentaires et perte de revenus locatifs : 7 millions de dollars • Coût de remplacement de la production hydroélectrique perdue : 6 200 millions de dollars • Réduction de la valeur des propriétés riveraines : 535 millions de dollars



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Millerd (2005) (réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint- Laurent)	Simulation des profondeurs d'eau dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent à partir de trois scénarios 2 x CO ₂ (du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique); niveaux d'eau prévus comparés aux niveaux d'eau mensuels normaux pour la période de 1900 à 1989 Situation de référence statique : données sur le transport de marchandises pour 2001	Impact des bas niveaux d'eau dans le réseau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (niveaux prévus par rapport à la moyenne annuelle pour la période de 1918 à 2014) sur la navigation commerciale (cargaisons en vrac, marchandises en vrac, produits pétroliers) Coût total d'un voyage du point de départ à la destination (chargement, déchargement et coûts d'exploitation)	Sans objet	Augmentation des coûts annuels de transport maritime (en dollars de 2001) avec les changements climatiques (par rapport à la moyenne annuelle pour la période de 1900 à 1989) : de 20 à 75 millions de dollars (ou +8 à 29 %), en fonction de la vitesse à laquelle les concentrations de CO ₂ doublent



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Exploitation minière				
Perrin et coll. (2015) (route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, T.N.-O.)	Projections pour des variables climatiques d'intérêt déterminé (c.-à-d. les degrés-jours de gel et les degrés-jours de fonte) dans le cadre du RCP8.5 pour les années 2020 et 2050 (par rapport à la norme pour la période de 1981 à 2010) Situation de référence statique : utilisation moyenne des routes (demande) pour la période de 2002 à 2012	Impact des changements climatiques sur la durée de la saison d'exploitation (p. ex. ouverture tardive, fermeture précoce, pas d'ouverture) de la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto (TCWR), une route d'accès à la mine construite principalement sur des lacs gelés dans les T.N.-O. Coût direct des modes de transport de remplacement et pertes de production directes dans les mines concernées	Sans objet	Coûts directs totaux annuels moyens (base de prix non spécifiée) : 215 millions de dollars (dont 150 millions de dollars de pertes de production et 65 millions de dollars de coûts liés au transfert modal), avec une probabilité de 60 % que les coûts dépassent la moyenne



SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Loisirs hivernaux – stations de ski				
DaSilva et coll. (2019) (Mont Orford, Mont Sutton et Bromont, Québec)	Valeur moyenne (et 10 ^e et 90 ^e percentiles) des variables climatiques pertinentes pour dix scénarios d’émissions couvrant les quatre RCP pour la période de 2020 à 2050. Projection de la fréquentation de chaque station (Mont Orford, Mont Sutton, Bromont) pour la période de 2020–2021 à 2049–2050, couvrant 30 saisons (les équations de la demande ont été estimées, incluant des variables pour les conditions météorologiques et d’enneigement)	Impact des changements climatiques sur le début et la durée de la saison de ski, le domaine skiable et les conditions d’enneigement pour les trois stations de ski en 2050, par rapport à 2020 Coûts d’exploitation directs (p. ex. électricité, entretien, salaires) et variations directes des revenus résultant des changements dans la fréquentation des skieurs (abonnements journaliers et saisonniers, restauration, etc.)	Sans objet	Changement dans les revenus directs globaux pour les trois stations pour la période de 2045 à 2049 par rapport à la période de 2020 à 2024 (en dollars de 2015) : -2,1 millions de dollars (-6,4 %) Changement dans les coûts d’exploitation globaux directs : 1 million de dollars (-3,4 %) Changement dans le revenu net global direct : -1,1 million de dollars (-29,2 %)

SECTEUR ET ÉTUDE	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES	
			ÉCHELLE NATIONALE	ÉCHELLE NATIONALE
Butsic et coll. (2011) (Whistler et Fernie, C.B.)	<p>Les projections des chutes de neige équivalentes aux précipitations totales (ou « intensité des chutes de neige ») ont été construites à partir des projections de température et de précipitations (moyenne de l'ensemble) pour les années 2050 en utilisant le scénario SRES A2 du GIEC (par rapport à la norme pour la période de 1971 à 2000).</p> <p>Situation de référence statique : Modèle hédonique des prix de l'immobilier estimé à l'aide des données sur les transactions immobilières de la période de 1980 à 2006</p>	Impacts des changements d'origine climatique sur l'« intensité des chutes de neige » (moyenne mobile sur cinq ans) d'ici les années 2050 sur les prix des maisons à Whistler (C.-B.) et à Fernie (C.-B.)	Sans objet	<p>Réduction des prix des maisons à proximité des stations de ski en Colombie-Britannique (variation en % par rapport à la moyenne pour la période de 1980 à 2006) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Whistler : -3,2 % pour chaque diminution prévue de 1 % de l'intensité des chutes de neige Fernie : -1,1 % pour chaque diminution prévue de 1 % de l'intensité des chutes de neige <p>Les projections de l'intensité des chutes de neige et les diminutions totales en dollars de la valeur des maisons n'ont pas été fournies pour les stations de la Colombie-Britannique, uniquement pour les stations des États-Unis</p>

¹ Les « pertes totales en valeur actualisée » sont la somme actualisée des coûts encourus chaque année entre, dans le cas présent, 2010 et 2080. Voir la section 6.6.3.2 et l'annexe 6.3 sur les motifs de l'actualisation des coûts et du choix du taux d'actualisation.

² Les augmentations prévues des coûts de suppression des incendies de forêt estimées par cette étude pourraient être interprétées comme des dépenses d'adaptation réactive. Il existe un coût d'option réel associé à ces dépenses supplémentaires, qui ne seraient pas engagées en l'absence de changements climatiques. Cette étude est donc incluse dans le tableau.

³ Les coûts ou pertes annuels moyens correspondent à la variation moyenne par an sur une période définie (par exemple, de 2071 à 2100).

⁴ L'utilisation du terme « prévu » signifie que les coûts annuels moyens estimés ont une pondération probabiliste.

Note : Les conséquences économiques estimées des changements climatiques dans ce tableau supposent qu'aucune nouvelle adaptation n'est prévue, par rapport au scénario de référence.

Annexe 6.2 : Résumé de quelques études choisies sur les conséquences économiques des changements climatiques pour les municipalités canadiennes

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) (2011)	Toronto (Ont.); Vancouver (C.-B.); Calgary (Alb.); Montréal (Qc)	<p>Changement de la température annuelle moyenne au Canada d'ici 2075 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles (SRES B1 du GIEC; +4,3 °C) et élevés (SRES A2 du GIEC; +5,3 °C)</p> <p>Croissance du PIB du Canada dans le cadre de deux scénarios : croissance lente (+1,3 % par année) et croissance rapide (+3,0 % par année)</p>	<p>Résultats sanitaires associés à des étés plus chauds (décès prématurés liés à la chaleur) et à une mauvaise qualité de l'air (maladies et décès prématurés)</p> <p>Dépenses de soins de santé, pertes de bien-être</p> <p>Mortalité prématurée évaluée en utilisant la valeur d'une vie statistique : 6,1 millions de dollars par décès</p>	<p>Coût total en valeur actualisée¹ de la mortalité prématurée attribuable aux impacts de la chaleur et de la qualité de l'air pour la période de 2010 à 2100 dans le cadre du scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente, et du scénario de forts changements climatiques et de croissance rapide (en dollars de 2008, à un taux d'actualisation de 3 %) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calgary : de 11 à 17 milliards de dollars • Montréal : de 52 à 77 milliards de dollars • Toronto : de 65 à 96 milliards de dollars • Vancouver : de 36 à 48 milliards de dollars <p>Valeur actualisée des dépenses totales de santé selon les mêmes scénarios que ceux décrits ci-dessus (en dollars de 2008, à un taux d'actualisation de 3 %) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calgary : de 16 à 54 milliards de dollars • Montréal : de 54 à 213 milliards de dollars • Toronto : de 72 à 285 milliards de dollars • Vancouver : de 46 à 140 milliards de dollars



ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Thistlethwaite et coll. (2018)	Municipalité régionale d'Halifax (N.-É.)	<p>Intensité prévue des précipitations sur 24 heures dans le cadre du RCP2.6 et du RCP8.5 pour les périodes de 2015 à 2045, de 2035 à 2065 et de 2065 à 2095, par rapport à la période de 1955 à 2009 (conditions historiques)</p> <p>Situation de référence statique : 54 000 logements résidentiels individuels dans la municipalité régionale d'Halifax</p>	<p>Impacts des inondations fluviales déclenchées par les pluies sur les immeubles résidentiels</p> <p>Pertes assurées (coûts directs de réparation et de remplacement des biens mobiliers et immobiliers endommagés)</p>	<p>Pertes annuelles moyennes assurées² dans les conditions climatiques actuelles : 543 000 dollars</p> <p>Pertes annuelles moyennes assurées avec les changements climatiques dans le cadre du RCP8.5 :</p> <ul style="list-style-type: none">• D'ici 2050 : 1,3 million de dollars (+137 %)• D'ici 2100 : 2,2 millions de dollars (+300 %)

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Boyd (2018)	Edmonton (Alb.)	<p>Scénario de référence pour 2018 : probabilité annuelle de 17 phénomènes extrêmes (à un niveau d'intensité donné) et degrés-jours sur la base des données de 1981 à 2010</p> <p>Projections des changements dans les probabilités de phénomènes extrêmes (intensité constante) et les degrés-jours pour les années 2050 et 2080 dans le cadre du RCP8.5</p> <p>Conditions socio-économiques de référence définies par les données de 2018</p> <p>Scénario socio-économique prévu pour les années 2050 et les années 2080; basé sur les prévisions de population et de logement, les études de croissance des villes, les prévisions des prix et les relations estimées à partir des données historiques</p>	<p>Impacts liés au marché et non liés au marché des changements dans la probabilité de phénomènes climatiques extrêmes et changements dans les degrés-jours de chauffage et de refroidissement dans le cadre d'un scénario à fortes émissions par rapport au scénario de référence de 2018</p> <p>Dommages directs (coûts de réparation et de remplacement) aux bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, aux contenus des habitations, aux inventaires des entreprises, aux nombreuses infrastructures et à l'environnement naturel; impacts directs sur la santé et la sécurité; pertes directes dues à l'interruption des activités; pertes indirectes et induites résultant des impacts directs liés au marché (estimées à l'aide de multiplicateurs d'intrants-extrants au niveau municipal)</p>	<p>Coûts sociaux nets annuels moyens attendus³ (en dollars de 2016, non actualisés) attribuables à l'impact des changements climatiques sur les phénomènes extrêmes et la demande de chauffage et de refroidissement en :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2055 : +4,7 milliards de dollars • 2085 : +10,3 milliards de dollars <p>Coûts annuels moyens nets prévus pour le PIB en :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2055 : + 1,6 milliard de dollars (1,6 % du PIB prévu) • 2085 : +3,5 milliards de dollars (1,9 % du PIB prévu)

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Bureau d'assurance du Canada (2015)	Halifax (N.-É.); Mississauga (ON)	<p>Scénario de référence pour 2015 : intensité et période de récurrence des inondations dues aux ondes de tempête et aux vents extrêmes (municipalité régionale d'Halifax) et des inondations dues aux eaux pluviales et aux pluies verglaçantes (Mississauga), selon les données historiques des 20 à 50 dernières années</p> <p>Projections des phénomènes extrêmes pour 2020 et 2040 dans le cadre des scénarios d'émissions « modérés » (RCP4.5 ou SRES B1 ou B2 du GIEC) et « élevés » (RCP8.5 ou SRES A2 du GIEC) (provenant de diverses sources)</p> <p>Conditions socio-économiques de référence définies par les données de 2015</p> <p>Scénario socio-économique prévu pour 2020 et 2040, déterminé par les prévisions démographiques et les plans d'aménagement du territoire, ainsi que par les tendances historiques de croissance du PIB</p>	<p>Impacts liés au marché des phénomènes extrêmes liés aux changements climatiques dans le cadre des scénarios à émissions modérées et élevées par rapport au scénario de référence</p> <p>Dommages directs (coûts de réparation et de remplacement) aux bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels, aux contenus des habitations, aux lignes de transport d'électricité, plus les pertes directes dues à l'interruption des activités; pertes indirectes et induites résultant des impacts directs (estimées à l'aide de multiplicateurs d'intrants-extrants au niveau municipal)</p>	<p>Coûts cumulatifs prévus du PIB⁴ attribuables aux changements climatiques au cours de la période de 2015 à 2040 pour les scénarios d'émissions modérées et élevées (en dollars de 2013, non actualisés) pour la municipalité régionale d'Halifax :</p> <ul style="list-style-type: none"> Inondations dues aux ondes de tempête : de 25 à 35 millions de dollars Vents extrêmes : de 65 à 140 millions de dollars <p>Coûts cumulatifs prévus du PIB attribuables aux changements climatiques pour la période de 2015 à 2040 pour les mêmes scénarios que ceux décrits ci-dessus (en dollars de 2013, non actualisés) pour Mississauga :</p> <ul style="list-style-type: none"> Inondations dues aux eaux pluviales : de 30 à 70 millions de dollars Pluies verglaçantes : de 28 à 31 millions de dollars

ÉTUDE	MUNICIPALITÉ	SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES	IMPACTS PHYSIQUES ET ÉCONOMIQUES	CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES
Lantz et coll. (2012)	Fredericton (N.-B.)	<p>Scénarios de fréquence de récurrence des inondations les plus optimistes et les plus pessimistes élaborés à partir des résultats de modèles de circulation générale à échelle réduite (pour les années 2020, les années 2050 et les années 2080) et des projections de l'élévation du niveau de la mer, qui a une incidence sur les hauteurs de pointe des inondations</p> <p>Scénario de croissance démographique prévu pour les 50 prochaines années (faible : -0,6 %; élevé : +23 %)</p>	<p>Impacts des inondations d'eau douce le long de la rivière Saint-Jean à Fredericton</p> <p>Coûts directs liés au marché pour le gouvernement (p. ex. services d'urgence, nettoyage et restauration, hébergement temporaire); les entreprises (p. ex. dommages aux biens et aux inventaires, coûts d'exploitation supplémentaires); les ménages (p. ex. dommages mobiliers et immobiliers, coûts de déplacement temporaire, temps de travail perdu)</p> <p>Coûts non liés au marché pour les ménages (p. ex. perturbation des transports, santé mentale, perte de temps de loisirs) recueillis par un sondage à méthode d'évaluation des contingences (compensation de consentement à accepter minimale)</p>	<p>Coûts directs annuels moyens anticipés dus aux changements climatiques (base de prix inconnue) :</p> <ul style="list-style-type: none"> Scénario de fréquence de récurrence des inondations la plus pessimiste et de population élevée : 13,2 millions de dollars (dont 7,9 millions de dollars de coûts liés au marché et 5,3 millions de dollars de coûts non liés au marché) Scénario de fréquence de récurrence des inondations la plus pessimiste et de faible population : 5,3 millions de dollars (dont 4 millions de dollars de coûts liés au marché et 1,3 million de dollars de coûts non liés au marché) Scénario de climat optimal et de faible population : -0,12 million de dollars (dont 0,09 million de dollars de coûts liés au marché et 0,03 million de dollars de coûts non liés au marché) Scénario de climat optimal et de population élevée : -0,32 million de dollars (dont 0,18 million de dollars de coûts liés au marché et 0,14 million de dollars de coûts non liés au marché)

¹ Le coût total en valeur actualisée est la somme actualisée des coûts encourus chaque année entre 2010 et 2100. Voir la section 6.6.3.2 et l'annexe 6.3 sur les motifs de l'actualisation des coûts et du choix du taux d'actualisation.

² La perte (ou le coût) annuel moyen est la perte (ou le coût) moyen par an sur une période définie (p. ex. entre 2050 et 2100).

³ L'utilisation du terme « prévu » signifie que les coûts annuels moyens estimés ont une pondération probabiliste.

⁴ Dans le cas présent, le coût cumulé est la somme non actualisée des coûts encourus chaque année entre 2015 et 2040.

Annexe 6.3 : Qu'est-ce que l'actualisation?

La valeur attachée aujourd'hui au fait de recevoir un dollar dans un an s'exprime comme suit :

$$1/(1 + d)$$

Où d est le taux d'actualisation. Si d était de 0,05 (5 %), la valeur d'un dollar dans un an serait de 95 cents aujourd'hui. Si le taux d'actualisation est constant et que l'on veut connaître la valeur d'un dollar dans deux ans, les 95 cents baisseront encore de 5 % la deuxième année et vaudront 91 cents aujourd'hui. L'expression mathématique de ce phénomène pourrait s'écrire comme suit :

$$1/(1 + 0.05)^2 = 0.91 \times \$1 = \$0.91$$

Si l'on prolonge cette opération sur plusieurs années, on obtient une valeur qui diminue de façon géométrique.

Par conséquent, si une personne investit un dollar aujourd'hui, elle devra obtenir un rendement d'au moins 1,05 dollar dans un an pour considérer que l'investissement en vaut la peine. De même, l'avantage requis dans deux ans serait de $(1,05 \$)^2 = 1,05 \$ \times 1,05 \$ = 1,103 \$$. Dans T ans, le montant nécessaire pour rentabiliser l'investissement devrait être de $(1 + d)^T$.

Concrètement, les avantages d'un investissement en matière d'adaptation s'accumulent en principe sur plusieurs années, auquel cas la comparaison doit être faite entre l'investissement actuel et la somme de ces avantages dans les années futures, chacun étant actualisé à partir de l'année où il se produit. Cette somme est appelée la valeur actuelle (VA) et s'écrit comme suit :

$$PV = \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1 + d)^t}$$

Où B_t représente l'avantage de l'adaptation à l'année t en termes monétaires.

Annexe 6.4 : Résumé de quelques évaluations économiques choisies de mesures d'adaptation au Canada qui utilisent un outil d'analyse coûts-avantages

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Foresterie				
Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) (2011) (nationale et par province)	Impacts des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies sur l'offre de bois; changements dans la productivité des forêts	1) Améliorer la prévention, le contrôle et la suppression des incendies de forêt 2) Améliorer la lutte contre les ravageurs 3) Planter des espèces d'arbres adaptées au climat futur Coûts globaux d'adaptation pour les trois mesures (valeur actualisée pour la période de 2010 à 2080, en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques : 2,3 milliards de dollars Scénario de changements climatiques élevés 3,6 milliards de dollars 	Valeur actualisée sur 70 ans (2010–2080) Taux d'actualisation constant : 3 % par année En dollars de 2008 (les avantages de l'adaptation ont été mesurés en fonction d'un changement dans la variation de la compensation du bien-être)	Rapport avantages-coûts combiné pour les trois mesures d'adaptation : <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 9,1 Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 38,1 Valeur actualisée des dommages résiduels totaux après adaptation (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 4,6 milliards de dollars Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 37,1 milliards de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Ochuodho et coll. (2012) (nationale et par province)	Impacts pessimistes (pire des cas) et optimistes (meilleur des cas) des incendies de forêt, des ravageurs et des maladies sur l'offre de bois; changements dans la productivité des forêts	1) Renforcer la prévention et la lutte contre les ravageurs 2) Renforcer la prévention, la maîtrise et la suppression des incendies de forêt 3) Planter des espèces différentes plus adaptées aux conditions futures Coûts globaux d'adaptation pour les trois mesures (valeur actualisée pour la période de 2010 à 2080, en dollars de 2008, l'intervalle reflète les scénarios les plus optimistes et les plus pessimistes) : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : de 1,3 à 3,4 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : de 2 à 5,3 milliards de dollars 	Valeur actualisée nette sur 70 ans (2010–2080) Taux d'actualisation constant : 3 % par année En dollars de 2008	Valeur actualisée nette combinée pour les trois mesures d'adaptation (en dollars de 2008; l'intervalle reflète les scénarios les plus optimistes et les plus pessimistes) : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : de 16,6 à 19,6 milliards de dollars • Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : de 171,2 à 243,1 milliards de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Santé				
TRNEE (2011) (Toronto)	Décès prématurés associés à des étés plus chauds et à une qualité de l'air moindre	<p>1) Toits verts : réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain de 1 °C grâce à l'adoption généralisée de toits verts</p> <p>2) Améliorer la qualité de l'air : installer des technologies de contrôle de la pollution pour éliminer les émissions génératrices d'ozone attribuables aux changements climatiques</p> <p>Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars de 2008) :</p> <p>1) 7,3 milliards de dollars (installations pour la période de 2035 à 2050, maintenues jusqu'en 2059)</p> <p>2) de 0,7 à 3,1 milliards de dollars (installations pour la période de 2050 à 2059 dans le cadre des scénarios de changements climatiques faibles et élevés)</p>	<p>Valeur actualisée sur dix ans (2050–2059)</p> <p>Taux d'actualisation constant : 3 % par année</p> <p>En dollars de 2008</p>	<p>Rapport avantages-coûts pour l'option 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : <0,3 Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : >0,3 <p>Rapport avantages-coûts pour l'option 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 4,0 Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 1,6 <p>Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation (en dollars de 2008) pour l'option 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 2,0 milliards de dollars Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 4,2 milliards de dollars <p>Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation pour l'option 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> Aucun dommage résiduel puisqu'il est supposé que les mesures compensent entièrement les impacts des changements climatiques sur la santé.

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Exploitation minière				
Rodgers et Douglas (2015) (Sudbury Integrated Nickel Operation de Glencore, Ontario)	Pluies et inondations extrêmes; niveaux d'eau élevés et faibles	Options inconnues pour gérer cinq déclencheurs environnementaux : 1) niveaux d'eau élevés; 2) faibles niveaux d'eau; 3) pluies intenses; 4) faible risque d'inondation; 5) risque d'inondation élevé Coûts d'adaptation non précisés	Récupération des coûts sur une période de 39 ans Taux d'actualisation constant : 2 % par année	Seuil de récupération des coûts atteint par les mesures d'adaptation pour gérer les déclencheurs environnementaux 2), 3) et 5).
Perrin et coll. (2015) (route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, T.N.-O.)	Impact des changements sur la durée de la saison d'exploitation (ouverture tardive, fermeture précoce, pas d'ouverture) de la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto, une route d'accès à la mine construite principalement sur des lacs gelés dans les T.N.-O.	1) Flexibilité de la planification (saison plus courte) 2) Augmentation de la construction et de l'entretien des routes de glace 3) Augmentation de la construction et de l'entretien des portages 4) Augmentation de la construction et de l'entretien des rampes Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en millions de dollars) (moyenne, 10 ^e et 90 ^e percentiles) pour chaque option : 1) 44 \$, de 28 \$ à 59 \$ 2) 5,8 \$, de 5,2 \$ à 6,4 \$ 3) 5,3 \$, de 4,7 \$ à 5,8 \$ 4) 0,3 \$, de 0,2 \$ à 0,4 \$	Valeur actualisée sur 35 ans Taux d'actualisation constant : 4 % par année Base de prix non précisée	Valeur actualisée nette pour le lot d'actions (millions de dollars) (moyenne, 10 ^e et 90 ^e percentiles) : 160 \$, de -30 \$ à 305 \$ Les valeurs actualisées nettes ci-dessus reflètent la différence de coûts actualisés entre un « scénario de conditions critiques » (comprenant les coûts du transfert modal et les pertes de production dans les mines) et un « scénario d'adaptation » (avec les quatre mesures d'adaptation)

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Niveaux d'eau				
L'arrivée et coll. (2016) (fleuve Saint-Laurent, Québec)	Impact des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent sur le transport maritime, le traitement des eaux municipales, les services écologiques et la pêche, la navigation de plaisance et le tourisme, la production d'hydroélectricité et la valeur des propriétés riveraines	Options relatives au transport maritime : 1) dragage 2) réduire au minimum la profondeur d'eau sous quille 3) une combinaison des deux Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars de 2012) pour chaque option : 1) 8,8 millions de dollars 2) 3,2 millions de dollars 3) 12 millions de dollars Options relatives au traitement des eaux municipales : • Modifier ou remplacer les pompes existantes par des pompes capables de fonctionner à des niveaux inférieurs • Augmenter ou réorganiser les systèmes de prise d'eau pour réduire les risques de perte de charge hydraulique et les contraintes hydrauliques	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses pour chaque option, la gamme étant définie par deux scénarios hydrologiques hypothétiques : (a) des écoulements annuels critiques progressivement atteints d'ici les années 2040, se rétablissant partiellement par la suite, et (b) des écoulements en été et en automne inférieurs à la référence d'ici 2020 : 1) de 37 à 26,1 millions de dollars (1,5 à 1,4) 2) de 24,3 à 20 millions de dollars (1,9 à 1,7) 3) de 46,4 à 26,2 millions de dollars (1,5 à 1,3) Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses : • Station 1 : -0,1 million de dollars (<0,1) • Station 2 : -2,3 millions de dollars (<0,01) Les résultats ci-dessus ne concernent que le scénario hydrologique hypothétique (a). Les avantages ne comprennent que la valeur du marché de la production d'eau perdue. Ils ne tiennent pas compte de la valeur de la perturbation de l'approvisionnement en eau pour les consommateurs.



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
L'arrivée et coll. (2016) (fleuve Saint-Laurent, Québec) (continué)		<p>Valeur actualisée des coûts d'adaptation pour deux études de cas portant sur des stations municipales de traitement de l'eau (en millions de dollars de 2012) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Station 1 : 0,1 million de dollars • Station 2 : 2,3 millions de dollars 		
		<p>Options relatives aux services écologiques et à la pêche :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Restauration des zones riveraines • Restauration de la plaine inondable • Changement des pratiques agricoles • Traitement plus efficace des eaux usées • Protection et restauration de l'habitat • Éducation et sensibilisation <p>Valeur actualisée des coûts d'adaptation pour l'ensemble des mesures (en dollars de 2012) : 560 millions de dollars (coût optimiste : 345 millions de dollars, coût pessimiste : 1 005 millions de dollars)</p>		<p>Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses pour l'ensemble des mesures :</p> <p>Pour le scénario hydrologique (a) et sur la base de coûts d'adaptation pessimistes : 225 millions de dollars (1,2)</p> <p>Pour le scénario hydrologique (b) et sur la base de coûts d'adaptation pessimistes : 2,265 millions de dollars (3,3)</p>



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Dorling et Hanniman (2016) (lac Michigan- Huron)	Impacts des faibles niveaux d'eau (scénario le plus pessimiste)	1) Seuils submergés (+21 cm de niveau d'eau) 2) Digues fixes remplies de roches (+16 cm) 3) Digues et déversoirs parallèles (+16 cm) 4) Vannes à clapet gonflables (+16 cm) 5) Turbines hydrocinétiques (+19 cm) Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars US de 2012) : 1) de 40,6 millions de dollars (sans délai, construction par étapes) à 64,3 millions de dollars (délai de 20 ans, construction sans étapes) 2) de 55,4 à 47,4 millions de dollars 3) de 102,6 à 78,0 millions de dollars 4) de 145,6 millions à 83,1 millions de dollars 5) de 215,8 à 140,4 millions de dollars	Valeur actualisée nette pour deux scénarios de construction : construction immédiate (2015–2064) et construction retardée (2015–2084). Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars US de 2012	Fourchette en valeur actualisée nette pour chaque option (en dollars US de 2012) dans les deux scénarios de construction : 1) de 235 à 50 millions de dollars 2) de 55 à 45 millions de dollars 3) de 100 à 80 millions de dollars 4) de 135 à 5 millions de dollars 5) de 125 à -25 millions de dollars



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Agriculture				
Berry et coll. (2017) (Pelly's Lake, Manitoba)	Impact du stress hydrique (disponibilité de l'eau) sur le rendement des cultures agricoles (canola, blé, luzerne, orge)	Bassins de rétention d'eau à Pelly's Lake et système d'irrigation Coûts du bassin de rétention et des infrastructures d'irrigation (en dollars de 2015) : 160,00 dollars par hectare	Revenu brut et marge brute par hectare (non actualisé) En dollars de 2015	<p>Différence moyenne des marges brutes des cultures sans irrigation et avec bassins et irrigation (et coûts associés) pour la période de 2050 à 2059 (en dollars de 2015 par hectare) :</p> <ul style="list-style-type: none">• RCP2.6 : -148• RCP4.5 : -146• RCP8.5 : -147 <p>Différence moyenne des marges brutes des cultures sans irrigation et avec bassins et irrigation (et coûts associés) pour la période de 2090 à 2099 (en dollars de 2015 par hectare) :</p> <ul style="list-style-type: none">• RCP2.6 : -146• RCP4.5 : -147• RCP8.5 : -148 <p>La disponibilité de l'eau d'irrigation a augmenté la production agricole, mais l'augmentation du revenu brut qui en a résulté n'est pas suffisant pour compenser les coûts des bassins et du système d'irrigation.</p>

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Loisirs hivernaux – ski en station				
DaSilva et coll. (2019) (Mont Orford, Mont Sutton et Bromont, Québec)	Impact sur le début de la saison de ski, la durée de la saison de ski, le domaine skiable et les conditions d'enneigement pour trois stations de ski au Québec	Options pour Bromont : B1) Augmenter la capacité de production de neige artificielle B2) Pistes de ski synthétiques B3) Diversifier les activités pour la clientèle d'entreprise Options pour le Mont Sutton : S1) Augmenter la capacité de production de neige artificielle S2) Améliorer les infrastructures pour accroître la qualité de l'expérience S3) Développer une capacité d'accueil S4) Renforcer la capacité de pratique du vélo de montagne Options pour le Mont Orford : O1) Optimiser la capacité existante de production de neige artificielle O2) Augmenter la capacité de production de neige artificielle O3) Prolonger les heures d'ouverture sur certaines parties de la montagne O4) Augmenter la capacité des pistes de niveau débutant et intermédiaire O5) Investir dans des activités estivales O6) Coordination régionale des activités offertes	Valeur actualisée nette pour la période de 2020–2024 à 2045–2049 Taux d'actualisation constant : 4 % En dollars de 2015	Les valeurs en dollars des valeurs actualisées nettes estimées n'ont pas été fournies; l'étude a seulement indiqué si les mesures d'adaptation avaient une valeur actualisée nette positive ou négative. Seules les mesures d'optimisation de la fabrication de neige artificielle au Mont Orford (O1) avaient une valeur actualisée nette positive (c.-à-d. qu'elles ont passé un test coûts-avantages). Ce résultat est valable pour les dix scénarios d'émissions considérés dans l'analyse.



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Zones côtières				
TRNEE (2011) (nationale et par province)	Impacts des inondations permanentes dues à l'élévation du niveau de la mer et des inondations temporaires dues aux ondes de tempête	1) Planification éclairée de l'aménagement : éviter tout nouveau projet d'aménagement dans les zones exposées aux risques d'inondation 2) Retraite stratégique : reconstruire les maisons dans des zones qui ne sont pas exposées aux inondations Coûts d'adaptation supposés nuls pour les options 1 et 2	Valeur actualisée nette sur 90 ans (2010–2100) Taux d'actualisation constant : 3 % par année En dollars de 2008	Valeur actualisée nette pour l'option 1 (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none">Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 4,3 milliards de dollarsScénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 55,1 milliards de dollars Valeur actualisée nette pour l'option 2 (en dollars de 2008) : <ul style="list-style-type: none">Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 16,7 milliards de dollarsScénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 173 milliards de dollars Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation (en dollars de 2008) pour l'option 1 : <ul style="list-style-type: none">Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 13,2 milliards de dollarsScénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 127 milliards de dollars



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
TRNEE (2011) (nationale et par province) (continué)				Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation (en milliards de dollars de 2008) pour l'option 2 : <ul style="list-style-type: none"> Scénario de faibles changements climatiques et de croissance lente : 0,9 milliard de dollars Scénario de changements climatiques élevés et de croissance rapide : 9,1 milliards de dollars
Wilson et coll. (2012) (région de Tantramar dans le Sud-Est du N.-B.)	Impact des inondations dues aux ondes de tempête	1) Élévation de la digue 2) Déménagement de l'infrastructure 3) Élévation de la digue et déménagement Valeur actualisée des coûts d'adaptation (en dollars de 2000) pour les options ci-dessus : 1) 1,3 million de dollars 2) 10,3 millions de dollars (le déménagement a lieu sur 20 ans) 3) 11,5 millions de dollars	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2000–2100) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2000	Valeur actualisée nette (en dollars de 2012) et rapport avantages-coûts entre parenthèses pour chaque option : 1) 40 millions de dollars (31,0) 2) 20 millions de dollars (2,9) 3) 35 millions de dollars (4,0) Valeur actualisée des dommages résiduels après adaptation pour chaque option (en dollars de 2000) : 1) 19 millions de dollars 2) 29,3 millions de dollars 3) 12,7 millions de dollars

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (isthme de Chignecto, N.-É. et N.-B.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	1) Élever les digues agricoles existantes à 10 m 2) Combinaison de l'élévation des digues à 10 m, du raccourcissement des sections et de l'élévation de l'infrastructure 3) Construire de nouvelles digues artificielles pardessus les digues existantes 4) Construire de nouvelles digues artificielles (sections raccourcies, protégeant uniquement les infrastructures publiques) 5) Construire de nouvelles digues artificielles (sections raccourcies, protégeant toutes les infrastructures) 6) Déménager la route	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts (cas sans impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) 0,5 2) 0,6 3) 1,1 4) 0,9 5) 1,5 6) 0,3 Rapport avantages-coûts (cas avec impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) 1,8 2) 1,9 3) 3,9 4) 3,2 5) 5,0 6) 1,0



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (havre de Halifax, N.-É.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	1) Construire un ouvrage longitudinal 2) Élever les structures	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts (cas avec route et sans impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) de 0,01 à 0,08 2) de 0,01 à 0,50 Rapport avantages-coûts (cas avec voie ferrée et impacts sur les échanges commerciaux) pour chaque option : 1) de 1,8 à 2,6 2) de 0,5 à 4,3

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (route côtière de North Cape, Kildare, Î.P.É.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) réactive, maintien des activités comme d'habitude 2) planifiée (niveau minimal d'adaptation : stabilisation du littoral) 3) planifiée (niveau d'adaptation moyen : installer une digue pour protéger le parc) 4) planifiée (niveau maximal d'adaptation : utilisation de l'option d'adaptation la plus appropriée afin de pouvoir poursuivre les activités courantes) 5) déménager le parc, les résidents saisonniers restent 6) déménager le parc, les résidents saisonniers quittent	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,9 2) 1,0 3) 0,8 4) 0,5 5) 0,6 6) 1,2
Parnham et coll. (2016) (havre Tracadie, Î.P.É.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) réactive, maintien des activités comme d'habitude 2) planifiée (niveau d'adaptation moyen : installer une digue) 3) planifiée (niveau maximal d'adaptation : installer une digue et surélever les bâtiments et les routes) 4) fermer le quai, protéger les propriétés privées 5) abandonner tout	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,8 2) 0,4 3) 0,6 4) 0,3 5) 0,3

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Parnham et coll. (2016) (Bay Bulls – Witless Bay, T.N.-L.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	Solutions techniques réparties à six sites, impliquant principalement l'élévation ou le déménagement d'infrastructures	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts : de 0,01 à 20,6 (selon le site et l'adaptation)
Parnham et coll. (2016) (Marystown, T.N.-L.)	Impacts de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières	Solutions techniques réparties à six sites, impliquant principalement l'élévation de routes, de terrains et de bâtiments, ainsi que la construction d'ouvrages longitudinaux	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts : de 0,01 à 20,5 (selon le site et l'adaptation)
Aubé et coll. (2016) (Le Goulet, N.-B.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion	1) Digue 2) Rechargement des plages 3) Rechargement des plages avec brèche	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2016–2116) Constante Base de prix inconnue	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,6 2) 1,9 3) 1,6

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Aubé et coll. (2016) (Sainte-Marie–Saint-Raphaël, Cap-Bateau, Pigeon Hill, N.-B.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion	1) Déménagement des maisons à risque 2) Instaurer des mesures de contrôle de l'érosion	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2016–2116) Taux d'actualisation constant : 3 % par année Base de prix inconnue	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 0,3 2) 0,4
Aubé et coll. (2016) (Shippagan et Pointe-Brûlée, N.-B.)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion	1) Modification du zonage pour établir une zone de retraite et d'hébergement 2) Modification du zonage, en supposant qu'il n'y ait pas d'impact sur la valeur des biens immobiliers	Valeur actualisée nette sur 100 ans (2016–2116) Taux d'actualisation constant : 3 % par année Base de prix inconnue	Rapport avantages-coûts pour chaque option : 1) 1,6 2) 2,2
Circé et coll. (2016a) (Percé, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages 2) Retrait planifié	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) de 1,62 à 68,4 2) de 1,0 à 1,4

ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Circé et coll. (2016a) (Maria, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages et épis 2) Retrait planifié et élévation de l'infrastructure	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) 1,1* 2) de 1,1 à 3,6
Circé et coll. (2016a) (Carleton-sur-Mer, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages 2) Retrait planifié 3) Rechargement des plages et épis 4) Élévation de l'infrastructure 5) Retrait planifié et élévation de l'infrastructure	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) 2,1* 2) 1,3* 3) 1,6* 4) 1,7* 5) de 0,3 à 1,8
Circé et coll. (2016a) (Îles-de-la-Madeleine, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	1) Rechargement des plages 2) Empierrement 3) Retrait planifié	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Gamme des rapports avantages-coûts pour chaque option dans l'ensemble des segments côtiers : 1) 25,8* 2) de 1,1 à 4,6 3) de 1,0 à 1,7



ÉTUDE, ENDROIT	IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	OPTIONS D'ADAPTATION	HORIZON DE TEMPS, TAUX D'ACTUALISATION ET PRIX	PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DES ADAPTATIONS
Circé et coll. (2016a) (Kamouraska, Québec)	Impact de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et des inondations côtières, ainsi que de l'érosion côtière	Retrait planifié et élévation de l'infrastructure	Valeur actualisée nette sur 50 ans (2015–2064) Taux d'actualisation constant : 4 % par année En dollars de 2012	Rapport avantages-coûts : 1,4

Remarque : Dans la dernière colonne, pour chaque identification, les chiffres en vert indiquent que les mesures d'adaptation envisagées satisfont au test d'efficacité économique (c.-à-d. que la valeur actualisée nette (VAN) estimée > 0 ou le rapport avantages-coûts > 1); les chiffres en rouge indiquent que les mesures d'adaptation envisagées ne satisfont pas au test d'efficacité économique (c.-à-d. que la VAN estimée < 0 ou le rapport avantages-coûts < 1).

*Lorsque seule la valeur est indiquée, l'option d'adaptation en question n'a été utilisée que dans un seul segment côtier.

Annexe 6.5 : Utilisation des pondérations d'équité pour tenir compte de la répartition des coûts et des avantages

Si les personnes qui tirent parti d'une mesure d'adaptation ou qui en assument les coûts appartiennent à des classes de revenus différentes, il est possible d'en tenir compte explicitement en appliquant des pondérations distributives en fonction de leurs niveaux de revenus relatifs. La pondération attribuée à une personne dans le groupe avec le revenu annuel i est donnée par w_i , où w_i :

$$w_i = \left[\frac{\bar{Y}}{Y_i} \right]^\varepsilon$$

Et \bar{Y} est le revenu moyen du groupe de référence choisi (p. ex. le troisième quintile de revenu) et ε est défini comme le paramètre d'aversion pour l'inégalité. Des estimations de ε ont été faites dans la littérature révélant une estimation centralisée de 1,5 [1,0-2,0] (Groom et Maddison, 2018).

L'exemple suivant montre comment les pondérations fonctionneraient. Supposons que la population concernée ait un revenu annuel moyen de 20 000 dollars. Les coefficients de pondération à attribuer aux avantages dont tirent parti les individus à différents niveaux de revenu sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

REVENU (\$)	PONDÉRATION	
	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 2$
5 000	4	16
10 000	2	4
20 000	1	1
50 000	0,4	0,16
100 000	0,2	0,04

Une réduction des dommages liés aux changements climatiques de 1 \$ pour une personne ayant un revenu de 5 000 \$ se verrait attribuer une valeur de 4 \$ dans l'analyse économique si ε est considéré être de 1 et de 16 \$ si ε est considéré être de 2, et ainsi de suite pour les autres niveaux de revenus.