



Analyse des effets des changements climatiques sur le processus visant l'établissement des hypothèses par le Bureau de l'actuaire en chef

Étude actuarielle n° 24

Bureau de l'actuaire en chef
Janvier 2025

Bureau de l'actuaire en chef
Bureau du surintendant des institutions financières Canada
255, rue Albert
Ottawa (Ontario)
K1A 0H2

Courriel : oca-bac@osfi-bsif.gc.ca

Vous pouvez vous procurer une version électronique de ce rapport
sur notre site Web : www.osfi-bsif.gc.ca

Table des matières

	Page
1 Sommaire	5
1.1 Objectif	5
1.2 Portée	5
1.3 Principales observations	5
2 Renseignements généraux	7
2.1 Risques liés aux changements climatiques	7
2.2 Organismes traitant de changements climatiques et scénarios	7
2.3 Programmes sous la responsabilité du BAC.....	9
3 Hypothèses démographiques.....	12
3.1 Indice de fécondité	12
3.2 Mortalité.....	17
3.3 Migration	26
4 Hypothèses économiques	33
4.1 Inflation.....	33
4.2 Croissance économique.....	38
4.3 Analyse quantitative	42
5 Hypothèses de placement.....	45
5.1 Titres à revenu fixe	45
5.2 Actions	51
5.3 Actifs réels.....	55
5.4 Facteurs à considérer pour l'élaboration d'un cadre qui appuie l'analyse quantitative.....	57
6 Conclusion	60
Annexe - A Références.....	62
Annexe - B Remerciements	75

Liste des tableaux

	Page
Tableau 1 Répercussions potentielles des changements climatiques sur l'indice de fécondité – sommaire des recherches comparatives	17
Tableau 2 Incidence sur l'espérance de vie par cohorte à partir de l'âge de 65 ans (en années) au 1er janvier 2018	25

Liste des graphiques

	Page
Graphique 1 Incidence de l'inflation au Canada (variation absolue en % par rapport au scénario de référence).....	37
Graphique 2 Incidence de l'inflation aux États-Unis (variation absolue en % par rapport au scénario de référence).....	38
Graphique 3 Scénarios climatiques illustratifs – Effet cumulatif sur le PIB par rapport au scénario de référence	43
Graphique 4 Taux directeurs nominaux au Canada (variation absolue en % par rapport au scénario de référence).....	51

1 Sommaire

1.1 Objectif

Voici la vingt-quatrième étude actuarielle publiée par le Bureau de l'actuaire en chef (BAC). Le BAC est chargé d'effectuer des évaluations actuarielles prévues par la loi sur les régimes de retraite et d'assurance du secteur public fédéral, ainsi que sur un éventail de programmes de sécurité sociale canadiens, notamment le Régime de pensions du Canada (RPC), le Programme de la sécurité de la vieillesse (SV), le Programme canadien de prêts aux étudiants et le régime d'assurance-emploi.

La présente étude a pour objectif d'évaluer de quelle manière les changements climatiques peuvent influencer sur le processus global d'établissement des hypothèses du BAC à l'égard de ses évaluations actuarielles. Les changements climatiques sont de plus en plus reconnus comme l'un des plus pressants risques mondiaux ayant une incidence sur les écosystèmes, les économies et les communautés du monde entier. Les changements climatiques peuvent donc influencer sur les programmes relevant du BAC de différentes manières, notamment par le biais des impacts futurs qu'ils pourraient avoir sur la démographie, l'économie et les placements.

1.2 Portée

Le BAC a mené des recherches documentaires pour mieux comprendre l'incidence potentielle des changements climatiques sur les hypothèses qui sous-tendent les évaluations actuarielles. La présente étude énonce les résultats de ces recherches. La section 2 donne des renseignements généraux sur les changements climatiques et les programmes qui relèvent du BAC. Les sections 3 à 5 examinent les effets potentiels des changements climatiques sur les hypothèses démographiques, les hypothèses économiques et les hypothèses de placement, respectivement. La dernière section présente les conclusions.

1.3 Principales observations

Il existe à l'heure actuelle beaucoup d'incertitude quant à la direction et à l'ampleur des changements climatiques et de leurs effets potentiels, et ces risques évoluent constamment. De plus, les recherches et les données nécessaires pour quantifier toutes les conséquences des changements climatiques sont incomplètes, et dans certains cas, quelque peu contradictoires. Le BAC n'est donc pas prêt à intégrer explicitement les effets des changements climatiques dans les hypothèses fondées sur la meilleure estimation et est d'avis que l'analyse de scénarios constitue une bonne approche pour comprendre et illustrer les risques.

La présente étude vise à affiner le cadre d'analyse des scénarios climatiques présentés dans le 31^e rapport actuariel du Régime de pensions du Canada (RA31 du RPC). Un élément à prendre en considération repose sur les hypothèses démographiques. Le BAC a décidé d'exclure les données démographiques de l'analyse des scénarios de changements climatiques, en raison du niveau élevé d'incertitude et de l'absence de recherches propres au Canada. Le manque de projections fiables rend difficile l'évaluation des répercussions potentielles des changements climatiques sur la dynamique des populations et les mouvements migratoires, bien que ce facteur demeure important.

En ce qui concerne les hypothèses économiques, l'étude recommande de conserver un cadre similaire à celui qui a été utilisé dans le RA31 du RPC. Le cadre existant relie les hypothèses

économiques aux chocs potentiels du produit intérieur brut (PIB) dus aux changements climatiques.

Enfin, en ce qui concerne les hypothèses de placement, le BAC cible une amélioration du cadre utilisé dans le RA31 du RPC en y intégrant une dynamique supplémentaire. Il s'agit notamment d'intégrer des facteurs tels que l'incidence des changements climatiques sur le rendement des titres à revenu fixe, ainsi que les répercussions variées des divers marchés sur le PIB selon chaque scénario de changements climatiques.

2 Renseignements généraux

Cette section fournit des renseignements généraux sur les risques liés au climat ainsi que des renseignements sur les principaux organismes et les scénarios climatiques qui sont couramment utilisés comme référence lors de l'évaluation des répercussions des changements climatiques. Elle décrit également les différents programmes dont le BAC est responsable.

2.1 Risques liés aux changements climatiques

Les risques liés aux changements climatiques ont été classés parmi les principaux risques émergents au niveau mondial. Les risques liés aux changements climatiques sont généralement classés en deux catégories : les risques physiques, afférents à la hausse de la fréquence et de la gravité des phénomènes climatiques, et les risques de transition, afférents aux efforts déployés pour assurer une transition vers une économie à faibles émissions de carbone. Il importe également de souligner que, quel que soit le parcours de la transition, l'élimination complète des risques physiques¹ n'est pas réaliste pour le moment puisque ces risques existent déjà dans une certaine mesure en raison du réchauffement climatique qui s'est déjà produit. Il serait cependant possible de les réduire ou de les atténuer par la création de nouvelles technologies visant à réduire ou à capter les émissions de carbone ou par des mesures d'adaptation à la fréquence et à la gravité croissantes des événements dangereux.

2.1.1 Exemples et types de risques physiques

Il existe deux types de risques physiques : les risques physiques aigus (à court terme) découlant des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les tempêtes, les inondations, les feux de forêt et les vagues de chaleur; les risques physiques chroniques (à long terme) représentés par l'élévation de la température, l'élévation du niveau de la mer, les régimes de précipitations changeants, etc. Les risques physiques peuvent également être classés en risques directs et indirects. Les risques physiques directs sont les effets immédiats et observables des changements climatiques qui découlent généralement de phénomènes météorologiques extrêmes et de changements environnementaux à long terme ayant une incidence directe sur les biens, les infrastructures ou les systèmes. Les risques physiques indirects sont liés aux effets secondaires découlant des effets directs des changements climatiques, et des interactions complexes au sein des écosystèmes, des économies et des systèmes sociaux. Il s'agit par exemple de la perturbation des chaînes d'approvisionnement, augmentation des coûts d'assurance, perte de la biodiversité, etc.

2.1.2 Exemples de risques de transition

Les risques de transition englobent notamment les politiques et les lois d'atténuation des changements climatiques, les mesures d'adaptation, les technologies d'innovation, les préférences changeantes du marché et le sentiment des investisseurs.

2.2 Organismes traitant de changements climatiques et scénarios

Cette section est une brève introduction à certains scénarios de changements climatiques et à certains organismes traitant de changements climatiques, qui seront mentionnés dans le

¹ [GIEC Changement climatique 2021](#)

reste de la présente étude.

2.2.1 Principaux organismes traitant de changements climatiques

De nombreuses institutions de modélisation du climat dans le monde produisent chacune leur propre modèle climatique. Tous les cinq à sept ans, elles se réunissent pour utiliser la dernière version de ces modèles dans un site coordonné de simulations. Cette collaboration mondiale, connue sous le nom de Projet de comparaison de modèles couplés (Coupled Model Intercomparison Project ou CMIP), renforce les projections climatiques en mettant en commun les connaissances de ces diverses institutions.

En plus de ces efforts de modélisation, plusieurs organismes internationaux se concentrent sur des initiatives de collaboration en matière de changements climatiques. Les plus importants sont le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et le Réseau pour le verdissement du système financier (NGFS).

Le GIEC est l'organisme des Nations Unies chargé d'évaluer l'état des connaissances scientifiques sur les changements climatiques. Bien que le GIEC ne mène pas ses propres recherches, il effectue des évaluations exhaustives des publications scientifiques sur les changements climatiques et publie périodiquement ses conclusions dans des rapports d'évaluation.

Le NGFS regroupe plus de 100 banques centrales et superviseurs, ainsi qu'une vingtaine d'observateurs qui sont déterminés à mettre en commun les pratiques exemplaires, à contribuer à l'élaboration de la gestion des risques liés à l'environnement et au climat dans le secteur financier, et à mobiliser le secteur financier traditionnel pour appuyer la transition vers une économie durable. Le NGFS publie également régulièrement ses scénarios climatiques, ainsi que des mises à jour.

2.2.2 Principaux scénarios de changements climatiques

Dans son sixième rapport d'évaluation (RE6 du GIEC), le groupe fait état de divers scénarios fondés sur les trajectoires socioéconomiques partagées (SSP) de la sixième phase du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP6). Ces scénarios se fondent sur des renseignements issus du développement socioéconomique et des projections des modèles climatiques. Ils sont désignés par l'abréviation « SSPx-y », où « SSPx » renvoie à une trajectoire socioéconomique partagée particulière et « y » renvoie au niveau de forçage radiatif (en watts par mètre carré ou W/m^2 – plus la valeur est élevée, plus le réchauffement du climat est élevé) à la fin du XXI^e siècle. Il y a cinq SSP, soit SSP1 à SSP5, chacun assorti d'hypothèses différentes de développement humain (population, éducation, urbanisation, etc.), de croissance économique, de développements technologiques, d'émissions de gaz, d'offre et de demande énergétiques, et autres. Chaque SSP peut mener à de multiples scénarios selon les niveaux de forçage radiatif qui y sont associés. Le RE6 mentionne cinq scénarios prioritaires de SSP, comme suit.

- SSP1-1.9 et SSP1-2.6 : extrémité inférieure des futures trajectoires d'émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre (GES). Le réchauffement d'ici 2100 pourrait se limiter à moins de 2 °C.
- SSP2-4.5 : émissions futures de GES et de CO₂ intermédiaires. Le réchauffement d'ici 2100 pourrait se limiter à moins de 3 °C.
- SSP3-7.0 : émissions futures de CO₂ et de GES élevées. Le réchauffement d'ici 2100

serait d'environ 3,6 °C.

- SSP5-8.5 : émissions futures de CO₂ et de GES très élevées. Le réchauffement d'ici 2100 serait d'environ 4,4 °C.

Les SSP ont été conçus pour compléter et fonctionner en combinaison avec les trajectoires de concentration représentative (Representative Concentration pathways ou RCP), qui sont présentées dans la phase 5 du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP5) et le cinquième rapport d'évaluation du GIEC (RE5 du GIEC). Les scénarios des RCP représentent le niveau de forçage radiatif projeté pour 2100. Quatre RCP figurent dans le RE5, comme suit.

- RCP 2,6 : le niveau de forçage radiatif a diminué à 2,6 W/m² d'ici 2100.
- RCP 4,5 : le niveau de forçage radiatif s'est stabilisé à 4,5 W/m² d'ici 2100.
- RCP 6,0 : le niveau de forçage radiatif s'est stabilisé à 6,0 W/m² d'ici 2100.
- RCP 8,5 : le niveau de forçage radiatif s'est accru à 8,5 W/m² d'ici 2100.

À noter que les SSP et les RCP précisent le niveau de forçage radiatif prévu pour 2100, ce qui fournit un moyen de comparaison entre leurs scénarios. Toutefois, pour un niveau de forçage radiatif donné, la composition des gaz à effet de serre et les trajectoires d'émissions entre les SSP et les RCP peuvent différer.

2.3 Programmes sous la responsabilité du BAC

Le BAC est une unité indépendante au sein du Bureau du surintendant des institutions financières (BSIF) qui fournit des services de consultation au gouvernement du Canada. Dans le cadre de son mandat, le BAC est chargé d'effectuer des évaluations actuarielles prévues par la loi sur les régimes de retraite et d'assurance des employés du secteur public fédéral, ainsi que d'un éventail de programmes de sécurité sociale canadiens, notamment le Régime de pensions du Canada (RPC), le Programme de la sécurité de la vieillesse (SV), le Programme canadien d'aide financière aux étudiants et le régime d'assurance-emploi.

2.3.1 Programme de la sécurité de la vieillesse

Le programme de la SV comprend une pension universelle de base et des suppléments ciblés visant à réduire la pauvreté. Le programme de la SV est financé par les recettes fiscales générales sur une base de répartition. L'une des mesures du coût du programme est celle du coefficient des dépenses par rapport au produit intérieur brut (PIB). Le BAC effectue des évaluations triennales du programme de la SV, qui présente les dépenses projetées et historiques ainsi que les rapports de coûts. Ces projections reposent sur des hypothèses de variables démographiques et économiques. Les principales hypothèses démographiques portent entre autres sur les indices de fécondité, les taux de mortalité et la migration nette; les principales hypothèses économiques comprennent l'inflation, l'augmentation du salaire réel et les hypothèses liées à la population active.

2.3.2 Régime de pensions du Canada

Le RPC est un programme d'assurance sociale à prestations déterminées obligatoires, fondé sur les gains, dont l'objectif principal est de fournir un revenu de retraite de base. Le RPC se compose de deux parties : le RPC de base (prestations en vigueur avant l'amélioration) et le RPC supplémentaire (l'amélioration), qui a commencé en 2019. Le RPC de base est partiellement capitalisé, tandis que le RPC supplémentaire est pleinement capitalisé, tant par les cotisations des employés que par celles des employeurs. Les cotisations qui ne sont pas immédiatement nécessaires pour payer les dépenses sont investies sur les marchés

financiers.

2.3.2.1 RPC de base

Les évaluations triennales déterminent le taux de cotisation minimum (TCM) à partir de projections selon l'approche du groupe ouvert. Ce TCM représente le taux de cotisation le plus bas résultant en un coefficient des actifs projetés par rapport aux dépenses projetées généralement constant. Les hypothèses démographiques importantes pour déterminer le TCM comprennent l'indice de fécondité, le taux de mortalité, la migration, les tendances en matière de retraite et les taux d'incapacité; les hypothèses économiques importantes sont l'augmentation réelle du salaire, la population active, l'inflation et le rendement des placements.

2.3.2.2 RPC supplémentaire

Étant donné que le RPC supplémentaire est pleinement capitalisé, les revenus de placement sont une source importante de revenus. Les revenus projetés (cotisations et revenus de placement) devraient être suffisants pour payer intégralement les dépenses prévues du RPC supplémentaire à long terme. Étant donné qu'il s'agit de l'un de ses objectifs, les évaluations triennales établissent les taux de cotisation minimums supplémentaires (TCMS) selon l'approche du groupe ouvert. Contrairement au TCM pour le RPC de base, les TCMS du RPC supplémentaire ne sont pas particulièrement sensibles aux hypothèses en matière d'indices de fécondité, de population active ou de migration, en raison du lien plus étroit entre les cotisations des particuliers et leurs prestations futures. Par ailleurs, les TCMS sont sensibles aux hypothèses de mortalité, de salaire réel et de placements (hypothèses de taux de rendement réel), tout comme les régimes de retraite du secteur public.

2.3.3 Régime de retraite du secteur public

Les régimes de retraite du secteur public offrent des prestations de retraite déterminées à divers groupes d'employés fédéraux. En général, ces prestations sont proportionnelles au service accumulé et au salaire. Pour les principaux régimes de retraite du secteur public (fonction publique, Forces canadiennes, Gendarmerie royale du Canada), les prestations acquises pour le service depuis le 1^{er} avril 2000 sont entièrement capitalisées. Les cotisations des employés et du gouvernement sont versées dans des fonds spécifiques, qui devraient croître avec le rendement des placements. Les évaluations triennales rendent compte de la situation financière (en matière de surplus ou de déficit actuariel et de coefficient de capitalisation²) et des cotisations (qui englobent les cotisations salariales, les cotisations du gouvernement et, le cas échéant, les paiements spéciaux du gouvernement) pour ces régimes. La situation financière et les cotisations nécessaires sont sensibles aux hypothèses démographiques et économiques utilisées dans les évaluations. L'une des principales hypothèses démographiques est la mortalité, et les principales hypothèses économiques comprennent le rendement des placements, l'indexation des pensions, l'augmentation des salaires et l'inflation.

Pour chacun des régimes susmentionnés, les cotisations versées et les prestations acquises jusqu'au 31 mars 2000 font l'objet d'un suivi au moyen d'un compte spécial, qui porte des intérêts comme si les flux nets de trésorerie étaient investis trimestriellement dans certaines obligations d'État. Les évaluations triennales établissent la situation financière de ces

² On mesure la situation financière par la valeur actuarielle des actifs à la date d'évaluation par rapport au passif actuariel à la date d'évaluation, laquelle est fondée sur les données de participation à cette date.

comptes et le crédit spécial à apporter aux comptes en cas de déficit. La situation financière des comptes est sensible aux hypothèses démographiques comme les taux de mortalité et aux hypothèses économiques comme le taux d'intérêt des obligations, l'indexation des pensions, l'augmentation des salaires et l'inflation.

Par ailleurs, quelques régimes du secteur public de taille relativement modeste sont des régimes sans capitalisation. Dans ce cas, il existe un compte spécial établi pour le régime qui reçoit les cotisations et ce compte sera crédité au taux d'intérêt prescrit; ou encore, ce régime est financé à même le Trésor sur une base de répartition.

2.3.4 Autres programmes

La présente étude porte sur l'incidence des changements climatiques sur les programmes et régimes susmentionnés, et sur le RPC en particulier. Les sections qui suivent aborderont les principales considérations et répercussions possibles des changements climatiques sur les principales hypothèses démographiques, économiques et de placement, formulées par le BAC pour évaluer ces programmes et régimes.

Le BAC prépare des rapports actuariels pour d'autres programmes, comme le Programme canadien d'aide financière aux étudiants, le régime d'assurance-emploi et plusieurs programmes d'avantages sociaux du secteur public, mais la présente étude ne porte pas sur ceux-ci.

3 Hypothèses démographiques

La présente section de l'étude aborde les principaux facteurs à prendre en considération lors de l'évaluation des répercussions possibles des risques liés au climat sur les hypothèses démographiques développées par le BAC lors de la préparation des rapports actuariels pour le RPC, le programme de la SV et les régimes de retraite du secteur public.

La taille et la structure par âge de la population pourraient subir des changements futurs en raison de la variabilité du climat ou de catastrophes naturelles. Par exemple, la hausse du niveau de la mer, les phénomènes météorologiques extrêmes, les changements de température et les régimes de précipitations peuvent exacerber les problèmes de santé, influencer sur les taux de natalité et de mortalité, et perturber l'agriculture, ce qui pourrait entraîner des pénuries alimentaires dans le monde et une migration forcée. D'autre part, des hivers plus cléments pourraient réduire la mortalité liée au froid et à la grippe. Ces répercussions sont interreliées et peuvent avoir des effets complexes et variés sur la démographie d'un pays.

La partie suivante explore, en mettant l'accent sur la perspective canadienne dans la mesure du possible, les répercussions potentielles des risques liés au climat sur trois principales hypothèses démographiques, soit l'indice de fécondité, la mortalité et la migration.

3.1 Indice de fécondité

L'incidence des risques liés au climat sur l'indice de fécondité peut varier considérablement en fonction de l'emplacement géographique et des facteurs socioéconomiques, ainsi que de l'accès aux soins de santé et aux services de planification familiale.

Les deux premières sous-sections examinent les effets directionnels potentiels sur l'indice de fécondité découlant des risques physiques directs et des risques physiques et de transition indirects. Ces sous-sections visent à établir les facteurs potentiels en général, et ils ne se traduisent pas nécessairement par des répercussions importantes sur l'indice de fécondité au Canada. La troisième sous-section présente un sommaire du point de vue canadien. Enfin, la dernière sous-section présente une étude de cas. Celle-ci examine un cadre qui permettrait de quantifier les effets potentiels des risques liés au climat sur les indices de fécondité en établissant un lien entre les données historiques sur l'indice de fécondité et les facteurs de stress environnementaux.

3.1.1 Répercussions directes

Les risques liés au climat peuvent influencer sur l'indice de fécondité par des modes d'incidence physique directs, comme la hausse des températures, la pollution atmosphérique, l'élévation du niveau de la mer, ainsi que la pénurie de nourriture et d'eau. Les études montrent généralement que les effets physiques directs des risques liés au climat ont une incidence négative sur l'indice de fécondité (c.-à-d. une pression à la baisse). Cette section présente quelques exemples de telles pressions à la baisse.

En premier lieu, l'environnement peut avoir une incidence sur la fécondité qui peut à son tour être aggravé par les changements climatiques. En voici quelques exemples :

- La pollution atmosphérique³ peut réduire la fécondité (Gaskin et coll., 2019), et une plus grande exposition à la pollution atmosphérique pourrait prolonger le délai de conception. De nombreuses études ont révélé qu'une augmentation des particules fines réduit la fécondabilité (Mahalingaiah et coll., 2016; Slama et coll., 2013; Wesselink et coll., 2022;). Il a également été établi que des niveaux élevés de polluants sont liés à un risque accru de fausses couches et d'effets indésirables sur la grossesse (Ha et coll., 2017).
- Les vagues de chaleur extrême peuvent causer un stress thermique, ce qui peut nuire à la fécondité. Des études montrent que l'exposition à la chaleur extrême pendant la fenêtre pré-conceptionnelle peut réduire la probabilité de conception. Elle augmente également les interruptions involontaires de grossesse, réduit la durée de la grossesse et réduit le poids à la naissance (Hajdu et Hajdu, 2021).
- Les recherches suggèrent que des changements dans les niveaux de précipitations peuvent avoir des effets différentiels sur la fécondité. Les épisodes de précipitations extrêmes peuvent entraîner une diminution de la fécondité à court terme en raison d'une baisse de la productivité végétale et d'une insécurité alimentaire potentielle (Segal et Giudice, 2022; Zeppel et coll., 2014). À long terme, les changements climatiques pourraient exacerber les inégalités en augmentant l'indice de fécondité dans les régions tropicales plus pauvres, tout en le diminuant dans les régions plus riches du Nord (Casey et coll., 2019). Les facteurs socioéconomiques (voir ci-dessous) ont une grande influence sur ces effets. De plus, la hausse du niveau de la mer devrait accroître les degrés de salinité de l'eau potable, ce qui est associé à des problèmes de prééclampsie (Khan et coll., 2014).

En second lieu, les changements climatiques peuvent perturber la production alimentaire en causant des sécheresses, des inondations et d'autres phénomènes météorologiques extrêmes. De même, la pénurie d'eau, exacerbée par les changements climatiques, peut nuire à l'hygiène et l'assainissement. Le manque de nourriture et d'accès à de l'eau claire et à des installations sanitaires peut exercer une pression à la baisse sur la fécondité; le premier en raison de la malnutrition, qui a une incidence sur la santé reproductive, et le second en raison d'un risque accru de maladies transmises par l'eau (O'Kelly et Lambert, 2020). Les changements climatiques pourraient également modifier la répartition géographique des maladies à transmission vectorielle comme le paludisme et le virus Zika (Cella et coll., 2019; Mills et coll., 2010), qui peuvent avoir de graves répercussions sur la grossesse, y compris des anomalies congénitales et des fausses couches (Oberlin et Wylie, 2023).

3.1.2 Répercussions indirectes

Les risques liés au climat peuvent également avoir une incidence sur la fécondité par des voies indirectes causées par la transition vers une économie à faibles émissions de carbone ou par les effets secondaires des répercussions physiques. Selon les recherches, les répercussions indirectes pourraient exercer des pressions tant à la hausse qu'à la baisse sur

³ La pollution atmosphérique est principalement composée de dioxyde d'azote, de monoxyde de carbone (CO), d'ozone (O₃), de dioxyde de soufre (SO₂), de matières particulaires de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM_{2,5}) et de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀), ainsi que de certains perturbateurs du système endocrinien (PSE), comme les gaz d'échappement des moteurs diesel (Segal et coll., 2022).

la fécondité.

À court terme, la transition vers une économie à faibles émissions de carbone pourrait perturber la stabilité de l'emploi et des revenus, ce qui pourrait amener une partie de la population à retarder la décision d'avoir des enfants ou encore à en avoir moins. Le coût de la vie pourrait également augmenter en raison de la transition, ce qui entraînerait des difficultés financières à court terme pour les ménages, et influencer sur la planification familiale et la fécondité. Enfin, le stress psychologique associé aux événements liés au climat, à la perte des moyens de subsistance et à l'incertitude quant à l'avenir peut avoir une incidence sur la santé mentale, ce qui a des répercussions sur les décisions liées à la planification familiale et à la fécondité (Smith et coll., 2023).

À long terme, une transition climatique réussie peut améliorer les conditions environnementales qui pourraient favoriser la fécondité. Une transition climatique infructueuse pourrait mener à une baisse de la fécondité à long terme en raison de l'incertitude économique et du stress psychologique accru, ainsi que des répercussions plus importantes découlant des répercussions directes mentionnées dans la sous-section précédente.

Selon la stabilité sociopolitique d'un pays, les changements climatiques peuvent également causer des perturbations sociétales et accroître les conflits intragénérationnels et intergénérationnels (Hsiang, Meng et Cane, 2011; Islam et Winkel, 2017). À leur tour, ils peuvent réduire la fécondité en raison d'un stress accru et de l'incertitude dans la vie de la population touchée.

Les phénomènes météorologiques extrêmes associés aux changements climatiques peuvent déplacer les communautés et forcer les gens à migrer. Les recherches révèlent que la migration peut avoir une incidence sur la fécondité, et que des différences peuvent survenir dans les indices de fécondité, selon le lieu de naissance de la mère (Beine et coll., 2009). La composition démographique des populations déplacées peut donc influencer les taux de fécondité. Par exemple, si une partie importante de la population déplacée est composée de travailleurs en âge de procréer, cela pourrait entraîner une augmentation temporaire de la fécondité pour le pays d'accueil, à condition qu'il n'y ait pas de difficulté d'accès aux soins de santé, aux services de planification familiale et à d'autres infrastructures.

Enfin, pour certains pays en développement, le secteur agricole constitue une autre raison en faveur de l'augmentation de la fécondité due aux changements climatiques. Des études montrent que la taille de la famille pourrait augmenter pour compenser la baisse du rendement des cultures due aux changements climatiques (Casey et coll., 2019).

3.1.3 Sommaire et perspective canadienne

En fonction des résultats des recherches effectuées, cette sous-section présente un sommaire des conclusions à ce jour et de la façon dont elles pourraient influencer sur le processus d'établissement des hypothèses de l'indice de fécondité par le BAC au Canada. Cette sous-section vise à représenter les points de vue actuels du BAC qui évolueront à mesure que d'autres recherches et données deviendront disponibles. Pour mettre les choses en contexte, un indice de fécondité plus faible entraîne des rapports de coûts plus élevés pour les programmes financés par répartition ou partiellement capitalisés, et vice versa.

Dans l'ensemble, à l'échelle mondiale, les risques physiques directs découlant des changements climatiques devraient exercer une pression à la baisse sur l'indice de fécondité.

Pour ce qui est du délai, les répercussions devraient se faire davantage sentir à moyen et à long terme. Pour le Canada en particulier :

- En raison d'un climat plus froid et d'une qualité de l'air généralement meilleure que celle d'autres pays, la pression à la baisse potentielle sur l'indice de fécondité découlant de températures plus élevées et de la pollution atmosphérique ne devrait pas être importante. Cette conclusion est étayée par une analyse quantitative présentée dans la sous-section qui suit.
- Les changements climatiques sont un problème mondial, et les répercussions potentielles sur la production alimentaire mondiale et la qualité de l'eau toucheraient également les pays développés comme le Canada, quoique dans une moindre mesure. Bien que ce facteur présente un certain risque de détérioration de l'indice de fécondité, l'impact ne devrait pas être important à ce stade.

Comme il a été mentionné précédemment, les risques indirects découlant des changements climatiques pourraient exercer des pressions tant à la baisse qu'à la hausse sur l'indice de fécondité. Pour le Canada en particulier :

- L'incertitude financière liée à la transition vers une économie à faibles émissions de carbone ainsi que le stress psychologique associé aux risques liés au climat peuvent réduire la fécondité à court terme. Ces facteurs pourraient être pris en compte lors de l'établissement par le BAC des hypothèses à l'égard de l'indice de fécondité pour le prochain cycle d'évaluation actuarielle (31 décembre 2024). À ce stade, ces facteurs seraient pris en compte sur une base qualitative, et ils ne seraient pas explicitement quantifiés.
- Les répercussions à long terme dépendent fortement de la réussite de la conception et de la mise en œuvre de politiques de transition en matière de changement climatique dans le monde et au Canada. À ce stade, compte tenu du degré élevé d'incertitude lié au parcours de la transition au Canada et à l'échelle mondiale, le BAC n'est pas prêt à modifier son hypothèse à l'égard de l'indice de fécondité pour tenir compte des risques indirects à long terme découlant des changements climatiques.

3.1.4 Analyse quantitative

Le BAC a mené une analyse quantitative pour établir l'incidence potentielle des changements climatiques sur la fécondité au Canada. La présente section décrit brièvement le cadre utilisé pour l'analyse et ses résultats, ainsi que des comparaisons avec des analyses semblables effectuées par des pairs pour d'autres pays.

3.1.4.1 Cadre

La méthodologie se fonde sur un cadre qui adopte une approche d'analyse statistique pour établir la relation entre les facteurs de stress environnementaux et les effets sur la santé. Il s'agit d'un cadre bien établi et largement reconnu en épidémiologie environnementale (Bhaskaran et coll., 2013).

Voici la liste des facteurs de stress environnementaux qui ont été mesurés :

- le nombre de jours par mois présentant une température supérieure à 30 °C, mesurés pendant la période de 8 à 15 mois précédant la naissance;
- Nombre de jours par mois présentant une température supérieure à 15 °C, 20 °C et

25 °C, mesurés neuf mois avant la naissance;

- PM_{2,5} (qualité de l'air) mesurée neuf mois avant la naissance;
- Concentrations d'ozone (qualité de l'air) mesurées neuf mois avant la naissance.

De plus, des combinaisons de facteurs de stress environnementaux ont été analysées par rapport au nombre de naissances vivantes ou aux taux de fécondité. Le meilleur modèle retenu, fondé sur diverses mesures statistiques, ainsi que sur l'équilibre entre la complexité et la validité de l'ajustement, figure ci-dessous :

- Répercussions sur la santé : Naissances vivantes, par mois
- Facteur de stress environnemental : Nombre de jours par mois présentant une température supérieure à 30 °C, mesurés neuf mois avant la naissance
- Niveau géographique : Par province (à l'exclusion des territoires)
- Modèle linéaire généralisé : Distribution de Poisson avec fonction de lien logarithmique
- Contrôle de la saisonnalité et de la tendance à long terme (pour séparer l'association à court terme entre le facteur de stress environnemental et le résultat) : fonction spline cubique restreinte avec six degrés de liberté.

Bien que la qualité de l'air (concentrations de PM_{2,5} et d'ozone) soit possiblement un futur facteur de fécondité, les données canadiennes disponibles risquent d'être insuffisantes pour établir une relation au Canada et, par conséquent, elle a été exclue du modèle. Plus particulièrement, il n'y a pas suffisamment de jours consécutifs d'exposition importante. Les recherches suggèrent que toute étude sur les effets de la pollution nécessite des milliers de jours d'observation, avec une moyenne de dizaines d'événements par jour pour produire une précision et une puissance crédibles (Bhaskaran et coll., 2013).

3.1.4.2 Données

L'analyse repose sur les données provinciales en matière de fécondité de 1991 à 2022 de Statistique Canada⁴ et sur les données provinciales à l'égard des facteurs de stress environnementaux de DonnéesClimatiques.ca⁵ et d'Environnement et Changement climatique Canada⁶. Des données mensuelles ont été utilisées pour les naissances vivantes, tandis que l'indice synthétique de fécondité mensuel a été estimé à partir de l'indice synthétique de fécondité annuel.

3.1.4.3 Résultats

Selon le modèle, chaque jour supplémentaire dont la température dépasse 30 °C au cours d'un mois entraînerait une baisse relative de 0,54 % du nombre de naissances après neuf mois. Selon le scénario SSP5-8.5 (scénario du GIEC ayant l'effet physique le plus grave), le nombre de jours dont la température dépasse 30 °C devrait augmenter en moyenne d'environ 1,30 jour par mois d'ici 2050, et de 5,30 jours par mois d'ici 2100. Cela se traduirait par une réduction relative du nombre de naissances d'environ 0,70 % d'ici 2050 et de 2,85 % d'ici 2100.

Selon cette analyse, la seule augmentation de la température devrait avoir une incidence directe minime sur les naissances au Canada. Cependant, les répercussions des changements

⁴ Tableau : 13-10-0415-01 (anciennement CANSIM 102-4502) et Tableau 13-10-0418-01 (anciennement CANSIM 102-4505).

⁵ Données historiques des stations (consultées en 2023) : Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et [DonnéesClimatiques.ca](https://donneesclimatiques.ca)

⁶ [Programme de surveillance nationale de la pollution atmosphérique \(SNPA\) – Catalogue de données d'ECCC](#)

climatiques ne se limitent pas aux répercussions environnementales directes, comme la hausse des températures. Comme il a été mentionné précédemment, les changements climatiques pourraient également avoir une incidence négative sur la santé de la population en général et comporter d'importantes répercussions socioéconomiques qui n'ont pas été prises en compte dans le modèle et qui pourraient avoir une incidence plus importante sur les naissances futures.

Enfin, la baisse relative de 0,54 % pour le Canada est conforme aux conclusions d'études comparables menées dans d'autres pays, telles que résumées dans le tableau 1 ci-dessous (Keivabu et coll., 2023). La dernière colonne montre l'incidence des changements climatiques sur l'indice de fécondité en matière de baisse relative du taux de natalité pour chaque jour supplémentaire dépassant un certain seuil de température (colonne 3). Le tableau 1 met en évidence des répercussions cohérentes dans diverses régions, avec des baisses des taux de natalité allant de -0,18 % à -0,90 %, pour chaque jour supplémentaire qui dépasse le seuil de température sélectionné dans l'étude. Bien que l'ampleur des répercussions varie légèrement d'un pays à l'autre, l'effet potentiel des changements climatiques sur l'indice de fécondité devrait généralement être modeste dans différents climats.

Tableau 1 Répercussions potentielles des changements climatiques sur l'indice de fécondité – sommaire des recherches comparatives

Étude	Région	Seuil de température (en °C)	Incidence sur le taux de natalité*
Cette étude (BAC)	Canada	Plus de 30 (moyenne)	-0,54 %
Busse et coll., 2023	Sri Lanka	Plus de 30 (moyenne)	-0,90 %
Cho, 2020	Corée du Sud	De 30 à 32 (maximum)	-0,24 %
Busse et coll., 2018	États-Unis	Plus de 26,6 (moyenne)	-0,40 %
Hajdu et Hajdu, 2022	Hongrie	Plus de 25 (moyenne)	-0,18 % à -0,85 %

* L'incidence sur le taux de natalité est mesurée selon la variation en pourcentage relatif du nombre de nouveau-nés au cours d'un mois, divisée par la population, découlant d'une journée supplémentaire dépassant le seuil de température

3.1.4.4 Hypothèses et limites du modèle

Le cadre représente une version simplifiée de la quantification de l'incidence des facteurs de stress environnementaux à partir des données historiques. Voici quelques-unes des hypothèses sous-jacentes formulées :

- La population (et les indices de fécondité) resteront constants dans l'avenir. Bien que le fait que certains groupes, comme les personnes âgées, sont plus vulnérables aux changements climatiques n'est pas pris en compte, cela permet d'isoler les effets climatiques des autres tendances démographiques.
- L'emplacement géographique et la température au moment de la conception se situent dans les deux villes ayant la population la plus élevée de la province (sauf une seule ville pour l'Île-du-Prince-Édouard et une pour Terre-Neuve).
- La période de gestation est d'une durée de neuf mois avant la naissance pour toutes les personnes.
- Le modèle suppose l'absence d'adaptation (p. ex. en matière de comportement) ou de modifications technologiques ou d'accès à celles-ci (comme une augmentation du nombre de personnes qui possèdent un climatiseur).

3.2 Mortalité

Cette section examine les effets potentiels des changements climatiques sur la mortalité de la population. Contrairement aux recherches sur la fécondité, il y a davantage de

renseignements sur la mortalité au Canada; par conséquent, les paragraphes qui suivent ciblent davantage le Canada que ceux sur la fécondité.

Il importe de mentionner que cette section porte uniquement sur les effets potentiels des changements climatiques sur la mortalité de manière isolée. Par exemple, le fait d'affirmer que la mortalité pourrait augmenter en raison des changements climatiques ne signifie pas forcément que la mortalité aura dans l'ensemble une tendance à la hausse, puisque de nombreux autres facteurs influent sur le taux de mortalité.

La première sous-section examine les effets directs potentiels sur la mortalité découlant des divers facteurs environnementaux associés aux risques physiques des changements climatiques. La deuxième sous-section se penche sur les conséquences indirectes potentielles des changements climatiques sur les facteurs socioéconomiques et démographiques qui pourraient influencer sur le taux de mortalité. Les conclusions sont présentées dans la troisième sous-section, et la dernière sous-section mentionne des exemples de documents de recherche qui traitent des effets quantitatifs.

3.2.1 Répercussions directes

Les changements climatiques peuvent avoir une incidence directe sur la mortalité humaine future de différentes manières. Il s'agit notamment des variations de la température, des changements dans les régimes de précipitations et les caractéristiques des agents pathogènes, de l'augmentation de la pollution atmosphérique et de la fréquence des feux de forêt. La présente sous-section traite des répercussions des changements climatiques par ces divers facteurs sur la mortalité. L'interaction entre les différents facteurs et leurs synergies potentielles peuvent aggraver les effets globaux possibles.

Il est important de mentionner que les effets de ces facteurs directs sur la mortalité peuvent varier considérablement en fonction des niveaux d'émissions futurs. Bien que les effets directionnels indiquent une hausse potentielle du taux de mortalité, l'envergure de cette hausse dépend fortement de la conception et de la mise en œuvre des politiques climatiques actuelles et futures.

3.2.1.1 Variations de la température

L'un des changements climatiques les plus apparents porte sur les variations de température qui se manifestent partout dans le monde. Bien que les températures mondiales augmentent généralement en raison des changements climatiques, le rythme de réchauffement et le niveau des températures atteintes varieront d'une région à l'autre; or, le Canada devrait connaître un réchauffement à un rythme plus rapide que la moyenne mondiale⁷. De plus, certaines régions pourraient connaître des hivers plus froids en raison d'interactions complexes dans le système climatique. Selon le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, bien que les hivers canadiens devraient afficher en moyenne des températures plus douces à l'avenir, des épisodes de froid extrême⁸ sont toujours prévus.

L'augmentation future de la mortalité attribuable aux changements climatiques peut découler à la fois des étés plus chauds et des épisodes de froid extrême (Massetot, 2023;

⁷ [Expert Insight : Canada is warming faster than anywhere else on earth \(Le Canada se réchauffe plus rapidement que n'importe où ailleurs dans le monde – en anglais seulement\) – Western News \(westernu.ca\)](#)

⁸ [Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail - Changements climatiques : Conditions météorologiques extrêmes - Froid](#)

Raimi, 2021). De nombreuses études ont mis en lumière des preuves de surmortalité causée par l'augmentation des vagues de chaleur (Hajat et Kosatky, 2010; Gasparrini et coll., 2015; Ryti et coll., 2016; Luthi et coll., 2023). Des conditions météorologiques hivernales extrêmes peuvent également exacerber des problèmes de santé comme les maladies respiratoires et cardiovasculaires (Seltenrich, 2015), et causer des perturbations de l'infrastructure des services de santé, du transport et des systèmes d'intervention d'urgence, ce qui, au bout du compte, entraîne une augmentation de la mortalité. Par ailleurs, certaines études laissent entendre que la mortalité pourrait diminuer en raison des hivers plus cléments (Davis et coll., 2004; Kenney et coll., 2015). La question est de déterminer si ces diminutions potentielles de la mortalité liée au froid seraient suffisantes pour compenser les augmentations potentielles des étés plus chauds et des phénomènes météorologiques extrêmes.

Les recherches menées au Canada suggèrent que les augmentations de la mortalité ne seraient peut-être pas compensées par une diminution des décès liés au froid, surtout dans les scénarios où les émissions sont plus élevées. Les conclusions de ces recherches suggèrent principalement une augmentation de la mortalité attribuable aux changements de température au Canada (Club Vita, 2018; Gasparrini et coll., 2017; Gosselin et coll., 2022; Hebborn et coll., 2023; Lavigne, 2020).

D'un point de vue plus régional, une étude de 2012 portant sur 15 villes canadiennes estime que quatre villes connaîtraient une augmentation nette de la mortalité, soit London, Hamilton, Regina et Montréal (Martin et coll., 2012). Des études ultérieures montrent également que les effets nets de la température sur la surmortalité semblent varier d'une région géographique à l'autre (Gasparrini et coll., 2017; Hebborn et coll., 2023; Gosselin et coll., 2022; Lavigne, 2020).

3.2.1.2 Évolution des régimes de précipitations et des agents pathogènes

Les changements climatiques pourraient modifier les tendances des précipitations au Canada, ce qui pourrait contribuer à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes comme les inondations, les tempêtes et les sécheresses (Bonsal et coll., 2019). Ces événements peuvent entraîner des blessures physiques directes, des répercussions à long terme sur la santé mentale, des déplacements forcés et des perturbations dans les services de soins de santé (Ebi et coll., 2022). Ces conséquences multidimensionnelles pourraient entraîner une augmentation du taux de mortalité, en particulier dans les scénarios d'émissions élevées.

De plus, les changements graduels de la température et des précipitations peuvent avoir des répercussions sur les écosystèmes urbains, entraînant des changements qui permettent aux insectes de se propager vers les pôles. Cela augmente les risques de maladies à transmission vectorielle comme le virus du Nil occidental et la maladie de Lyme en Amérique du Nord (Portner et coll., 2022). Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), environ 17 % de toutes les maladies infectieuses sont causées par des maladies à transmission vectorielle, entraînant plus de 700 000 décès dans le monde chaque année⁹.

3.2.1.3 Pollution atmosphérique

Les changements climatiques devraient entraîner une détérioration de la qualité de l'air au Canada (Egyed et coll., 2022; Fiore et coll., 2015). Cette détérioration peut également

⁹ [Organisation mondiale de la Santé – Maladies à transmission vectorielle](#)

exacerber les répercussions des changements climatiques, car de nombreuses sources de polluants atmosphériques sont également des émetteurs de dioxyde de carbone (Fiore et coll., 2015). Ces interactions ont ultimement des répercussions directes et indirectes sur la mortalité et la morbidité humaines (Orru et coll., 2017).

Les polluants atmosphériques, en particulier ceux qui sont issus de la combustion, peuvent avoir des effets néfastes sur le système respiratoire, ce qui entraîne des problèmes comme l'asthme, la maladie pulmonaire obstructive chronique et d'autres maladies respiratoires. L'exposition à long terme à ces polluants peut également contribuer aux maladies cardiovasculaires. La plupart des publications ont établi des corrélations positives entre la pollution atmosphérique (et/ou l'exposition aux variables météorologiques) et la mortalité et/ou les hospitalisations, particulièrement en ce qui concerne les maladies respiratoires et cardiovasculaires (OMS, 2013; Al Ahad, 2020). Au Canada, l'exposition chronique à la pollution atmosphérique par les particules fines provenant de la combustion de combustibles fossiles est responsable annuellement de 7 100 décès prématurés et de 53,5 milliards de dollars en coûts liés à la santé (Howard et coll., 2018).

Les polluants atmosphériques peuvent également entraîner des répercussions indirectes sur la mortalité et la morbidité, en accélérant les changements climatiques. Par exemple, certains gaz à effet de serre comme le carbone noir (suie) et le méthane peuvent intensifier les températures extrêmes (Bunker et coll., 2016), et des polluants comme l'ozone peuvent avoir une incidence sur le rendement des cultures, ce qui nuit à la sécurité alimentaire et à la santé publique (Patz JA, 2014; McGrath JM et coll., 2015). Il y a également l'effet synergique combiné des températures élevées et de la pollution atmosphérique sur la mortalité, puisque les températures élevées et la pollution atmosphérique ont été associées à une augmentation de la mortalité (Willers, 2016).

3.2.1.4 Feux de forêt

Les changements climatiques peuvent entraîner une fréquence accrue des vagues de chaleur et une plus grande variabilité des régimes de précipitations, ce qui se traduit par des périodes de sécheresse prolongées et des épisodes de pluie plus intenses. La combinaison de chaleurs extrêmes et de sécheresses augmente les risques de feu de forêt. Les projections indiquent une intensification des incendies dans de nombreuses régions nord-américaines (Ranasinghe et coll., 2021, Halofsky et coll., 2020), attribuable à la prolongation de la saison des feux (USGCRP, 2017), à la persistance du réchauffement climatique (Villarreal et coll., 2019; Wahl et coll., 2019) et à un accroissement de la fréquence de la foudre (Chen et coll., 2021).

Les feux de forêt, et plus particulièrement les incendies en milieu périurbain, peuvent avoir des effets néfastes sur la mortalité, la morbidité et la santé mentale, comme l'indique le rapport RE6 du GIEC. Le rejet de quantités importantes de particules, de gaz toxiques et de composés organiques volatils lors des feux de forêt contribue directement à la formation d'ozone troposphérique. Ces particules de fumée peuvent parcourir des distances considérables, ce qui a des répercussions sur la qualité de l'air et la santé. Elles augmentent le risque de maladies cardiovasculaires, de morbidité et de mortalité en contribuant à la hausse de problèmes cardiovasculaires spécifiques, comme les arrêts cardiaques (Dennekamp et coll., 2015). Les populations vulnérables, notamment les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes, les personnes à faible statut socioéconomique et les premiers intervenants, subissent souvent plus durement ces effets (Abbott et Chapman,

2018; Agyapong et coll., 2018; Ford, 2012; Maguet, 2019). Notamment, dans le Nord canadien, des rapports font état de niveaux élevés de stress respiratoire et de maladies respiratoires chez les communautés Inuits et des Premières Nations en raison des feux de forêt (Howard et coll., 2021).

3.2.2 Répercussions indirectes

La présente sous-section examine les effets indirects potentiels des changements climatiques sur la mortalité. Encore une fois, l'envergure des répercussions potentielles dépend fortement de la conception et de la mise en œuvre des politiques climatiques actuelles et futures.

3.2.2.1 Incidences sur la productivité agricole

Les changements climatiques peuvent entraîner une augmentation de la mortalité en raison de la baisse de la productivité agricole, entraînant une diminution des disponibilités caloriques. Des études suggèrent que cela pourrait mener à une augmentation du nombre de décès liés à l'insuffisance pondérale et au climat en Amérique du Nord d'ici 2050 (Springmann et coll., 2016a; Springmann et coll., 2016b; Springmann et coll., 2018). Bien que la réduction des disponibilités caloriques puisse réduire les décès liés à l'obésité, les recherches établissent que l'augmentation de la mortalité découlant d'une consommation moindre en fruits et en légumes dépasserait largement la réduction de la mortalité due à la baisse des décès liés à l'obésité d'ici 2050, particulièrement au Canada et aux États-Unis (Springmann et coll., 2016a; Springmann et coll., 2016b).

Les répercussions nutritionnelles varient également au sein des pays (Shannon et coll., 2015; Zeuli et coll., 2018). L'Alaska et le Canada ont déjà connu des défis en matière de sécurité nutritionnelle en raison des changements climatiques qui ont eu une incidence sur les aliments récoltés localement (Lynn et coll., 2013; Petrusek MacDonald et coll., 2013; Harper et coll., 2015; Hupp et coll., 2015; Bunce et coll., 2016). Selon les scénarios RCP 2,6 et RCP 8,5, les communautés côtières des Premières Nations de l'Ouest canadien seront confrontées à une réduction de l'accès aux produits de la mer issus de la pêche traditionnelle d'ici 2050, ce qui nuira à la nutrition, en particulier pour de nombreux aînés (Marushka et coll., 2019).

3.2.2.2 Santé mentale

Les changements climatiques ont une incidence profonde sur la santé mentale, qui se manifeste par diverses voies directes et indirectes associées aux phénomènes météorologiques extrêmes, aux changements environnementaux cumulatifs et aux facteurs de stress d'anticipation (Cunsolo et Ellis, 2018; Hayes et coll., 2018).

Des risques climatiques spécifiques, notamment les tempêtes, les inondations, les vagues de chaleur, les feux de forêt et la sécheresse, ont des effets négatifs importants sur la santé mentale, et des recherches approfondies ont démontré leur corrélation avec des problèmes comme le SSPT, l'anxiété et la dépression (Hayes et coll., 2018; Obradovich et coll., 2018; Charlson et coll., 2021). Dans le contexte de l'Amérique du Nord, les changements climatiques sont étroitement liés à un éventail de réactions émotionnelles, y compris la dépression, l'anxiété généralisée, le deuil écologique, l'abus de substances, le stress familial, la violence domestique, l'augmentation du taux de suicide et la perte des connaissances culturelles et des identités géographiques (Cunsolo et Ellis, 2018; Clayton, 2020; Dumont et

coll., 2020).

Des études montrent que la détérioration de la santé mentale peut exacerber les conditions physiques et, par conséquent, augmenter la mortalité. Les troubles mentaux contribuent de façon importante à la morbidité et à la mortalité partout dans le monde, et les personnes atteintes de troubles mentaux ont des taux de mortalité plus élevés que la population sans troubles mentaux (Charlson et coll., 2021; Hayes et coll., 2018; Walker et coll., 2015).

3.2.2.3 Incidence socioéconomique

Les changements climatiques pourraient constituer une menace multidimensionnelle pour la santé publique au Canada. La fréquence croissante des phénomènes météorologiques graves pourrait mettre à rude épreuve les systèmes et l'infrastructure de soins de santé existants (Félio, 2017; Health Care without Harm, 2018), entraînant potentiellement une augmentation des coûts des soins de santé, un accès réduit à ceux-ci et une aggravation des conditions sanitaires, et avec pour conséquence une hausse de la mortalité.

Les groupes défavorisés, qui sont peut-être déjà confrontés à de plus grands défis en matière d'atténuation et de prévention des risques liés au climat (Islam et Winkel, 2017), sont particulièrement vulnérables aux effets des changements climatiques sur la santé. La vulnérabilité aux effets des changements climatiques sur la santé est déterminée par l'exposition aux risques liés aux changements climatiques, la sensibilité aux répercussions possibles et la capacité de réaction ou d'adaptation (Gosselin et coll., 2022). Parmi les populations touchées de façon disproportionnée figurent les Autochtones, les femmes, les enfants, les personnes âgées, les personnes à faible revenu, les personnes présentant déjà des problèmes de santé physique et mentale, et certains groupes professionnels.

3.2.2.4 Transition vers une économie à faibles émissions de carbone

La transition vers une économie à faibles émissions de carbone peut avoir de profondes répercussions sur la mortalité à mesure que les sociétés adoptent des sources d'énergie plus propres et des pratiques durables. Tout en augmentant possiblement les taux de mortalité à court terme en raison de la réorientation des recherches (de la santé vers la transition) et des pressions accrues sur la santé mentale, la transition vers une économie à faibles émissions de carbone peut entraîner des retombées encourageantes permettant de minimiser toute hausse potentielle de la mortalité causée par les facteurs mentionnés dans les sous-sections précédentes; dans certains cas, elle pourrait même mener à d'autres baisses indirectes et indépendantes de la mortalité.

Des études publiées dans *The Lancet* ont montré que des stratégies appropriées d'atténuation des changements climatiques peuvent avoir des effets supplémentaires, indépendants et largement bénéfiques sur la santé publique (Haines, 2017; Watts et coll., 2018). Une transition réussie peut améliorer l'environnement grâce à une meilleure qualité de l'air et promouvoir de meilleurs modes de vie, ce qui réduit la fréquence des maladies (Erickson et coll., 2017; Watts et coll., 2018). En mettant l'accent sur les pratiques durables, la qualité et la disponibilité de l'eau peuvent être améliorées, et les maladies transmises par l'eau peuvent être réduites. De plus, les investissements dans les infrastructures résilientes aux changements climatiques offrent la possibilité d'améliorer les systèmes de soins de santé et les capacités d'intervention d'urgence, en garantissant un meilleur accès aux soins de santé et des interventions rapides en cas d'urgence sanitaire. De plus, la transition peut

contribuer à stabiliser les phénomènes météorologiques extrêmes. L'agriculture durable et l'amélioration des systèmes alimentaires pourraient également améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition, et par conséquent réduire possiblement la mortalité au fil du temps (McMichael et coll., 2007; Friel et coll., 2009).

3.2.3 Sommaire des conclusions

En fonction des résultats des recherches effectuées, cette sous-section présente un sommaire des conclusions à ce jour et de la façon dont elles pourraient influencer sur le processus d'établissement des hypothèses liées aux taux de mortalité au Canada par le BAC. Cette sous-section vise à représenter les points de vue actuels du BAC qui évolueront à mesure que d'autres recherches et données deviendront disponibles. Pour mettre les choses en contexte, un taux de mortalité plus faible entraîne des rapports de coûts plus élevés pour les programmes financés par répartition, pleinement ou partiellement capitalisés, et vice versa.

Il est important de réaffirmer que cette section porte uniquement sur les effets potentiels des changements climatiques sur la mortalité de manière isolée. Bien que les changements climatiques constituent un facteur susceptible d'avoir une incidence sur la mortalité future, de nombreux autres facteurs (notamment les avancées médicales et un accès accru aux soins de santé) exercent une influence considérable sur la mortalité future et les taux d'amélioration de la mortalité.

Voici un résumé de l'opinion actuelle du BAC sur la manière dont les changements climatiques pourraient avoir une incidence sur la mortalité :

- Les répercussions directes, découlant des changements de température, des changements dans les régimes de précipitations et d'agents pathogènes, de la pollution atmosphérique et des feux de forêt, contribuent collectivement à une perspective principalement pessimiste quant à la mortalité (pression à la hausse).
- Les répercussions indirectes découlant des conséquences éventuelles sur la productivité agricole, la santé mentale et les facteurs socioéconomiques pourraient aggraver cette perspective pessimiste.
- Face à ces divers défis posés par les changements climatiques, la transition vers une économie à faibles émissions de carbone pourrait contribuer à minimiser, voire à inverser, les hausses potentielles de la mortalité liées au climat. Par conséquent, l'effet net futur des changements climatiques sur la mortalité dépend considérablement de la réussite de la transition climatique à l'échelle mondiale et au Canada.
- En dépit des possibilités de changements positifs qu'offre la transition, l'incidence globale du climat semble pencher davantage vers une hausse potentielle de la mortalité. Le BAC pourrait en tenir compte lors de l'établissement des hypothèses liées à la mortalité lors du prochain cycle d'évaluation actuarielle (31 décembre 2024). À ce stade, ces facteurs seraient pris en compte sur une base qualitative et ils ne seraient pas explicitement quantifiés.

3.2.4 Incidence quantitative des changements climatiques sur le taux de mortalité

Bien que le BAC n'ait pas effectué d'analyse quantitative établissant un lien entre les changements climatiques et le taux de mortalité, il existe un certain nombre d'études qui portent sur le sujet. La présente sous-section fournit quelques exemples d'articles qui ont été publiés et qui quantifient l'incidence potentielle des changements climatiques sur la mortalité.

3.2.4.1 Publication de Club Vita : *hot and bothered*

Le document de Club Vita (Club Vita, 2018) décrit trois scénarios de longévité liés aux changements climatiques dont les régimes de retraite du Royaume-Uni peuvent se servir pour effectuer des simulations de crise et évaluer l'impact de celles-ci sur leur financement. Bien qu'une grande partie des travaux actuels sur les changements climatiques aient été axés sur les marchés financiers et les choix de placement, ce document souligne l'importance pour les fiduciaires de s'assurer que les régimes de retraite font preuve de résilience face aux résultats potentiels futurs, en particulier en ce qui a trait à l'espérance de vie.

Les scénarios présentés dans le document visent donc à soutenir l'évaluation des risques dans l'exercice d'une bonne gouvernance ou à aider à établir les hypothèses d'évaluation. Bien que des probabilités de réalisation ne soient pas assignées à chaque scénario, il est possible d'analyser les simulations de crise et d'évaluer le niveau de préparation à chaque scénario.

Le premier scénario est celui de la « politique de l'autruche ». Il s'agit d'un cas extrême marqué par une absence totale de réaction aux risques liés aux ressources et à l'environnement. Selon ce scénario, le Royaume-Uni connaît des pénuries alimentaires et une flambée de maladies qui se propagent depuis les climats plus chauds. La baisse d'une alimentation équilibrée entraîne des taux plus élevés de cancer et de maladies cardiovasculaires. Des épidémies de grippe sévères se produisent tous les trois ans en raison de la fluctuation des températures. Il est prévu que l'espérance de vie baissera et que cette situation se produira rapidement.

Le deuxième scénario est celui des « moments difficiles ». Il s'agit d'un cas plus modéré où une certaine adaptation aux changements climatiques est atteinte, mais où la disponibilité du pétrole devient un frein pour les économies futures. Cela entraîne de graves problèmes de financement du système national de santé et une augmentation du coût des stocks de denrées alimentaires importées. Ce scénario suppose qu'une part importante des groupes à faible revenu sont incapables de subvenir à leurs besoins de base, tandis que les groupes à revenu élevé sont moins touchés. Il est prévu que l'espérance de vie cessera de s'améliorer pour les groupes à faible revenu.

Le dernier scénario est celui de la « révolution verte ». Cela signifie une adaptation positive et réussie aux changements climatiques, ce qui mène à une amélioration de la longévité. L'amélioration de la conscience environnementale, des lois et de l'éducation en matière de santé sont tous des facteurs qui contribuent à ce scénario.

Le tableau 2 ci-dessous montre l'incidence des trois scénarios sur l'espérance de vie à l'âge de 65 ans.

Tableau 2 Incidence sur l'espérance de vie par cohorte à l'âge de 65 ans (en années) au 1er janvier 2018

Scénario	Participant	Participant en rente différée,	Pensionné,
		âgé de 50 ans	âgé de 65 ans
Politique de l'autruche	Hommes	-3,6	-1,1
	Femmes	-4,0	-1,4
Moments difficiles	Hommes	-1,2	-0,4
	Femmes	-1,7	-0,7
Révolution verte	Hommes	+1,9	+0,9
	Femmes	+1,6	+0,8

3.2.4.2 Revue canadienne de santé publique : Future temperature-related excess mortality under climate change and population aging scenarios in Canada (Surmortalité future liée à la température selon divers scénarios de changements climatiques et de vieillissement de la population au Canada)

L'article de la *Revue canadienne de santé publique* (Hebbern et coll., 2023) présente une évaluation de la mortalité liée à la température au Canada jusqu'en 2099, en tenant compte des changements dans la structure d'âge de la population et des scénarios de croissance démographique par rapport à un scénario de référence qui utilise 2010-2019 comme période de référence. Les auteurs prennent le nombre quotidien de décès non accidentels de 2000 à 2015 pour l'ensemble des 111 régions socio-sanitaires du Canada (obtenues de Statistique Canada) et effectuent une analyse en séries chronologiques en deux parties pour estimer les associations entre les températures quotidiennes moyennes et la mortalité.

Ils ont recours à trois scénarios SSP de changements climatiques différents : SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5. Les résultats montrent une corrélation positive entre l'augmentation de la température et la mortalité liée à la chaleur dans tous les scénarios SSP; les plus fortes augmentations se produisent dans le cadre du SSP5-8.5, et les plus faibles augmentations se produisent dans le scénario SSP1-2.6. Les effets du froid sur la mortalité devraient diminuer selon le scénario SSP1-2.6 et augmenter selon les deux autres scénarios.

L'augmentation nette de la surmortalité en 2090-2099 devrait se situer entre 3,29 % et 17,31 % selon le scénario SSP. Il est intéressant de noter que les résultats par grand groupe d'âge montrent que les groupes d'âge plus jeunes devraient connaître une surmortalité nette négative dans tous les scénarios SSP, tandis que ceux de 65 ans et plus devraient connaître une surmortalité nette positive dans tous les scénarios SSP.

3.2.4.3 Institut canadien pour des choix climatiques – Les coûts des changements climatiques pour la santé : Comment le Canada peut s'adapter, se préparer et sauver des vies

Ce document (Clark et coll., 2021) analyse les répercussions possibles des changements climatiques sur la santé au Canada, selon des scénarios d'émissions modérées de gaz à effet de serre (RCP 4,5) et d'émissions élevées (RCP 8,5). Il traite des répercussions sur un large éventail de variables comme la morbidité et la mortalité, les coûts en soins de santé, la valeur des vies perdues et la perte de qualité de vie, ainsi que les pertes de productivité et les coûts connexes. La présente section porte sur la partie de l'analyse qui traite des décès liés à la chaleur au Canada.

Afin d'estimer l'incidence potentielle de la mortalité associée à des températures plus

élevées dans le cadre de scénarios de changements climatiques, les fonctions exposition-réponse ont été associées à des données socioéconomiques et à des données climatiques, et les résultats ont été comparés à ceux d'un scénario de référence. Des études canadiennes qui analysent les liens entre les journées chaudes et les résultats sur la santé par région ont servi à créer ces fonctions exposition-réponse. La période de référence est une combinaison de données socioéconomiques de 2016 et de données sur le climat de 1971 à 2000.

Les coefficients des fonctions exposition-réponse sont tirés d'une étude de Gasparrini et coll. (2015), qui portait sur 21 villes canadiennes et qui analysait tous les décès entre 1986 et 2009. Les décès excédentaires sont définis comme des décès causés par des températures supérieures ou inférieures à la température « optimale » (soit entre les 2,5^e et 97,5^e centiles de la température moyenne).

Les estimations de modélisation découlant de l'étude prédisent que d'ici le milieu du siècle, 400 décès supplémentaires dus à la chaleur pourraient se produire chaque année au Canada selon le scénario d'émissions élevées (RCP 8,5), comparativement au scénario de référence. Ce chiffre aura presque doublé d'ici la fin du siècle, atteignant 790 décès par année. Cela représente environ 1,1 décès supplémentaire pour 100 000 personnes chaque année d'ici le milieu du siècle et 1,7 décès supplémentaire pour 100 000 personnes chaque année d'ici la fin du siècle.

3.3 Migration

Cette section examine les effets potentiels des changements climatiques sur les tendances migratoires. Face aux changements climatiques, et notamment à l'incertitude économique et à l'instabilité politique potentielles qui peuvent en découler, la migration est l'une des stratégies que les individus et les ménages adoptent de leur plein gré ou sont forcés de faire pour améliorer leur bien-être et leurs moyens de subsistance.

Les deux premières sous-sections traitent de divers vecteurs de migration liés au climat, qui peuvent être classés en deux groupes, soit les vecteurs directs et indirects de migration et de déplacement. Il est important de souligner l'étendue et la portée générale de ces facteurs. Les répercussions régionales peuvent varier considérablement, façonnant les schémas migratoires de diverses manières en fonction des conditions locales. La sous-section suivante examine comment ces vecteurs peuvent influencer les tendances migratoires futures au Canada.

Soulignons également qu'il existe encore beaucoup d'incertitude et qu'il convient de poursuivre les travaux de recherche, comme le souligne le rapport spécial du GIEC : « Notre compréhension des liens entre le réchauffement planétaire et les migrations humaines est limitée et représente une lacune importante dans les connaissances » (Hoegh-Guldberg et coll., 2018).

3.3.1 Vecteurs directs de la migration

Les vecteurs climatiques directs de migration et des déplacements se regroupent sous deux grandes catégories.

La première catégorie est celle des changements progressifs, qui englobent les risques physiques chroniques, comme les changements dans les régimes de température et de

précipitations, l'élévation du niveau de la mer, la salinisation des terres agricoles, la désertification, etc. Les changements dans les régimes de température et de précipitations peuvent provoquer des migrations en raison des déplacements environnementaux et des défis posés par l'agriculture (Bohra-Mishra et coll., 2014). La hausse de la température peut également contribuer à la fonte des glaciers et de la banquise, ce qui entraîne une élévation du niveau de la mer. Pour les zones côtières et les petites îles, l'élévation du niveau de la mer menace l'habitat, la sécurité alimentaire et la croissance économique. Les points de basculement liés à l'élévation du niveau de la mer, en particulier lorsque les niveaux de réchauffement sont élevés, pourraient accroître le nombre d'individus à risque d'être déplacé (Ranasinghe et coll., 2021).

La seconde catégorie de vecteurs directs de migration et de déplacement est liée à l'apparition rapide d'événements climatiques, soit les risques physiques aigus. Les tempêtes violentes, les inondations et les feux de forêt sont étroitement associés à des niveaux élevés de déplacement à court et à long terme, tandis que les sécheresses, la chaleur extrême et les anomalies de précipitations sont plus susceptibles de provoquer des changements à long terme des modèles de migration (Kaczan et Orgill-Meyer, 2019; Hoffmann et coll., 2020). Selon l'Observatoire des situations de déplacement interne¹⁰ et les données recueillies depuis 2008, les tempêtes violentes et les inondations sont invariablement en tête de liste des facteurs liés aux conditions météorologiques qui causent des déplacements de population à l'échelle mondiale, ce qui souligne l'importance de ces événements.

Il existe de nombreuses études empiriques sur la relation entre la migration et le climat et/ou d'autres facteurs environnementaux. Cependant, la direction et la portée dans laquelle les facteurs environnementaux influencent la migration ne sont pas claires. Certaines études ont révélé que les changements environnementaux contribuaient à l'augmentation de la migration des populations, tandis que d'autres études n'ont signalé aucun effet ou encore une diminution de la migration. Les résultats empiriques diffèrent selon les facteurs environnementaux pris en compte, les données et l'échelle de l'analyse, la méthodologie employée et les contextes géographiques couverts (Cattaneo et coll., 2019; Berlemann et Steinhardt, 2017; Hunter et coll., 2015).

Enfin, les risques et les événements environnementaux ne représentent qu'un aspect des nombreux facteurs qui influencent la décision de migrer. Des publications récentes ont mis l'accent sur le rôle de différentes conditions macroéconomiques, y compris des facteurs économiques, culturels et sociopolitiques qui peuvent renforcer ou supprimer les réactions migratoires dues aux chocs environnementaux (Hoffmann et coll., 2020; Cattaneo et coll., 2019; Kazcan et coll., 2019; Barnett et McMichael, 2018; McLeman, 2017).

3.3.2 Vecteurs indirects de la migration

Les décisions en matière de migration découlent souvent de causes multiples, et le stress environnemental n'est que l'un des nombreux facteurs sous-jacents de la migration. Les changements climatiques peuvent influencer indirectement la migration par le biais de facteurs politiques et socioéconomiques (Black et coll., 2011). Les capacités d'adaptation varient selon les régions, les pays et les communautés. La richesse nationale et individuelle influence fortement le niveau de vulnérabilité face aux événements climatiques, car elle peut

¹⁰ [Accueil | IDMC – Observatoire des situations de déplacement interne \(internal-displacement.org\)](https://www.internal-displacement.org/)

réduire les effets des catastrophes climatiques, ainsi qu'améliorer l'éducation et les interventions en cas de catastrophe (Brown, 2008).

3.3.2.1 Facteurs politiques

Lorsqu'ils sont confrontés à des défis liés aux changements climatiques, les gouvernements peuvent réagir en mettant en œuvre diverses politiques. Ils peuvent notamment prendre des mesures pour s'adapter aux conditions changeantes, promouvoir des pratiques durables ou attribuer les ressources de manière plus efficiente. Toutefois, si les politiques sont inadéquates ou ne sont pas mises en œuvre efficacement, elles peuvent contribuer aux disparités sociales et économiques, ce qui pourrait encourager la migration, car les individus cherchent de meilleures possibilités dans les régions où les politiques sont plus favorables (McLeman, 2017).

À mesure que les changements environnementaux s'intensifient, les pays pourraient connaître une concurrence accrue pour des ressources vitales comme l'eau et la terre arable. Cette concurrence peut provoquer des tensions et des conflits politiques, entraînant le déplacement de populations et ouvrant la voie à la migration transfrontalière (Stern et coll., 2006; Raleigh et coll., 2014). Ces facteurs peuvent donc contribuer à la migration forcée, notamment les demandeurs d'asile et les réfugiés. Bien que les réfugiés climatiques ne soient pas actuellement considérés comme des « réfugiés au sens de la Convention »¹¹, un pays peut décider d'étendre la protection aux personnes déplacées en raison des changements climatiques¹².

À l'échelle internationale, plusieurs initiatives et accords stratégiques pertinents ont été conclus pour adresser les défis potentiels en matière de gouvernance des migrations¹³. Ces initiatives pourraient influencer les perspectives de migrations internationales.

3.3.2.2 Facteurs socioéconomiques

Les changements climatiques devraient stimuler la migration humaine et les déplacements à l'échelle mondiale en raison des changements qui se produisent dans divers facteurs socioéconomiques (Portner et coll., 2022), notamment les possibilités d'emploi, l'accès aux services sociaux et l'inégalité socioéconomique dans le lieu d'origine, qui constituent tous des vecteurs de migration importants (Massey, 1999; Migali et coll., 2019).

Les changements climatiques peuvent avoir une incidence sur l'accès des particuliers aux soins de santé, à l'éducation, aux possibilités d'emploi, à d'autres services sociaux et à l'infrastructure. Cet accès restreint peut à son tour avoir des répercussions sur les décisions de migration. À mesure que les changements climatiques s'intensifient dans la région d'origine, les résidents peuvent décider de migrer à la fois dans le pays, des régions rurales

¹¹ Selon l'article premier de la Convention de 1951 relative au statut des réfugiés, un « réfugié au sens de la Convention » définit strictement une personne qui se trouve hors du pays dont elle a la nationalité ou dans lequel elle avait sa résidence habituelle et qui ne peut y retourner, car elle craint avec raison d'être persécutée du fait de sa race, de sa religion, de sa nationalité, de son appartenance à un certain groupe social ou de ses opinions politiques. ([UNHCR – L'agence des Nations Unies pour les réfugiés – La Convention de 1951 relative au statut des réfugiés](#))

¹² [Legifrance CETA](#)

¹³ Pacte mondial pour des migrations sûres, ordonnées et régulières et Pacte mondial pour les réfugiés; le Mécanisme international de Varsovie de la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques; les objectifs de développement durable le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe; la Plateforme sur les déplacements liés aux catastrophes (Portner et coll. 2022)

aux régions urbaines (Lustgarten, 2020; Rigaud et coll., 2018) ou à l'étranger (Reuveny et Moore, 2009; McLeman, 2017; Goodman et coll., 2021). En général, les personnes ou les familles ayant des ressources financières plus importantes et un niveau de scolarité plus élevé ont une meilleure capacité d'adaptation aux changements climatiques (Butz et coll., 2014; Ocello et coll., 2014). Ce sont également elles qui sont le mieux en mesure de migrer à l'intérieur du pays ou à l'étranger (Kubik et Maurel, 2016; Koubi et coll., 2022; Riosmena et coll., 2017; Adams et Kay, 2019).

De plus, les changements climatiques pourraient exacerber les inégalités sociales et économiques au sein d'un pays, entraînant ainsi une migration accrue (Burzynski, 2019; Islam et Winkel, 2017; Mardhiori et Ingmar, 2009). Cela est dû à l'incidence disproportionnée des changements climatiques sur les groupes défavorisés, notamment une exposition accrue aux effets négatifs, une plus grande vulnérabilité aux sinistres et une diminution de la capacité d'adaptation et de rétablissement (Islam et Winkel, 2017). De plus, les recherches montrent que les changements climatiques peuvent également accroître les inégalités économiques mondiales, ce qui pourrait accroître la migration internationale (Diffenbaugh et Burke, 2019).

En résumé, les changements climatiques peuvent mener à une hausse de la migration internationale vers les pays développés, mais son ampleur et ses effets potentiels demeurent très incertains. Il existe encore des lacunes dans les connaissances sur les effets à long terme des changements climatiques sur la migration des populations et davantage de recherches sont nécessaires (Stern et coll., 2006; Portner et coll., 2022).

3.3.2.3 Transition climatique

La transition vers une économie à faibles émissions de carbone présente son propre ensemble de risques et de possibilités économiques qui peuvent influencer les dynamiques migratoires. La suppression des emplois dans les secteurs à forte intensité de carbone peut inciter les individus et les familles à migrer à la recherche d'autres emplois dans les secteurs verts émergents ou dans les régions dont les économies sont plus résilientes. Les changements dans les modèles d'investissement et les flux de capitaux vers l'énergie renouvelable et les infrastructures durables peuvent également avoir une incidence sur la migration à mesure que les personnes se déplacent vers des régions où les perspectives économiques sont plus prometteuses (Bluedorn et coll., 2022).

Au contraire, des politiques climatiques efficaces et des investissements dans le développement durable peuvent contribuer à réduire la pression migratoire en s'attaquant aux vulnérabilités sous-jacentes et en améliorant la résilience des collectivités confrontées aux défis liés au climat (World Bank 2023).

3.3.3 Recherches et considérations propres au Canada, et sommaire des conclusions

Comme il a été mentionné précédemment, l'incidence des changements climatiques va au-delà des préoccupations environnementales, car ils influencent les mouvements migratoires au sein d'un pays et à l'étranger, et ils peuvent varier considérablement d'une région à l'autre. Les études effectuées au Canada sont peu nombreuses, il n'y a pas toujours de consensus sur les résultats et, dans bien des cas, il n'y a pas de conclusion claire sur la manière dont les changements climatiques pourraient influencer les tendances migratoires au Canada.

La sous-section suivante donne un aperçu des considérations et des recherches pertinentes pour le Canada, ainsi qu'un sommaire des conclusions applicables à l'établissement des hypothèses du BAC concernant la migration au Canada.

3.3.3.1 Migration interne

Il existe peu d'études sur la migration interne liée au climat au Canada. Le processus d'établissement des hypothèses du BAC tant du point de vue démographique qu'économique se déroule au niveau macroéconomique et offre principalement une perspective pancanadienne¹⁴. À l'heure actuelle, le BAC n'est pas prêt à réajuster ses hypothèses démographiques et économiques pour tenir compte de l'incidence potentielle de la migration interne liée au climat au Canada.

3.3.3.2 Migration internationale

Au Canada, l'immigration internationale est composée des catégories suivantes :

- Les immigrants économiques sont des personnes qui ont été sélectionnées pour leur capacité à contribuer à l'économie canadienne.
- Les immigrants parrainés par la famille sont des personnes qui obtiennent le statut de résident permanent grâce au parrainage d'un membre de la famille qui est un citoyen canadien ou un résident permanent.
- Les réfugiés sont des personnes qui se voient accorder le statut de résident permanent parce qu'elles craignent, à juste titre, de retourner dans leur pays d'origine. Au Canada, la définition de « réfugié »¹⁵ se limite à des catégories juridiques bien précises. Les personnes déplacées par les changements climatiques ne peuvent être considérées comme des réfugiés au Canada que si d'autres facteurs de déplacement interagissent avec les changements climatiques, par exemple, la violence politique découlant des conflits pour l'accès à l'eau. Bien que le Canada dispose de mécanismes pour répondre à des urgences comme des catastrophes climatiques soudaines, il n'a pas de voie d'immigration désignée pour les personnes qui sont forcées de quitter leur pays en raison de la dégradation à long terme de l'environnement.
- Les autres immigrants englobent toutes les autres personnes qui obtiennent le statut de résident permanent.
- Les résidents non permanents sont des personnes qui ont un permis de travail ou d'études, ou des demandeurs d'asile qui cherchent à obtenir le statut de réfugié.

La croissance démographique future du Canada dépendra des niveaux d'immigration. Au-delà des niveaux d'immigration réels, la composition des immigrants (âge, genre, niveau de scolarité, compétences professionnelles, etc.) et la catégorie d'immigration peuvent également influencer sur la croissance économique future du Canada. Les changements climatiques pourraient avoir une incidence sur les niveaux futurs d'immigration au Canada et sur la composition des immigrants. Malheureusement, il existe très peu d'études à ce sujet. Voici un résumé des quelques références propres au Canada.

Des études montrent que l'immigration internationale liée au climat est principalement

¹⁴ La seule province pour laquelle des hypothèses distinctes sont établies est le Québec parce que les travailleurs de cette province ne cotisent pas au RPC.

¹⁵ [La Convention de 1951 relative au statut des réfugiés | HCR](#)

observée entre les pays qui ont des frontières communes (Kaczan et Orgill-Meyer, 2019; Hoffmann et coll., 2020). Cette observation suggère que, dans le passé, l'immigration au Canada était motivée par des facteurs qui n'étaient pas directement liés au climat, puisque la seule frontière du Canada se trouve avec les États-Unis. Cependant, certaines études soulignent que les considérations environnementales peuvent tout de même jouer un rôle primaire ou secondaire dans les raisons de la migration vers le Canada (Veronis et McLeman, 2014; McLeman et coll., 2017).

À l'instar des réfugiés, les demandeurs d'asile peuvent également être touchés par les risques climatiques, mais les recherches sur leurs mouvements internationaux vers le Canada sont limitées. Bien que certaines études (Abel et coll., 2019; Missirian et Schlenker, 2017) suggèrent des liens entre les fluctuations climatiques et la migration des demandeurs d'asile en Europe et au Moyen-Orient, d'autres constatations qui contredisent ce fait existent également (Schutte et coll., 2021). L'absence de recherche propre au Canada et le manque de consensus entre les études menées dans d'autres régions soulignent l'incertitude concernant la corrélation et l'incidence directionnelle entre les changements climatiques et les demandeurs d'asile dans le contexte canadien.

3.3.3.3 Sommaire des conclusions

Malgré le peu de recherches qui existent, le BAC a élaboré ses propres points de vue et considérations sur la façon dont les vecteurs de migration abordés dans la première section pourraient être liés au Canada. Ces points de vue et considérations sont résumés ci-dessous. Ils ne se veulent pas exhaustifs, et les données et les recherches futures permettront d'alimenter la réflexion du BAC. Pour mettre les choses en contexte, un niveau d'immigration plus faible entraîne des rapports de coûts plus élevés pour les programmes non capitalisés ou partiellement capitalisés, et vice versa.

En ce qui concerne les vecteurs directs et indirects de la migration, le Canada pourrait connaître des répercussions relativement plus faibles en raison de sa géographie unique et de son environnement sociopolitique stable. Cela pourrait faire du Canada une destination de choix pour la migration mondiale liée au climat, et permettre d'attirer et de retenir plus facilement les immigrants hautement qualifiés qui peuvent contribuer à l'économie. Dans un même temps, le Canada pourrait subir certaines pressions pour accepter des migrants liés au climat provenant d'autres catégories d'immigration qui ne contribueraient pas aussi rapidement à l'économie.

La réponse du Canada aux changements climatiques, comme son engagement à la durabilité et aux initiatives écologiques, peut également influencer les décisions de migration vers le Canada. Une transition climatique réussie pourrait contribuer à attirer et à retenir de la main-d'œuvre qualifiée, mais l'inverse est également vrai.

Bien que les changements climatiques puissent influencer la tendance de la migration internationale vers le Canada, le nombre total d'immigrants dépend principalement des objectifs annuels du gouvernement en matière d'immigration. Ces cibles¹⁶ orientent les politiques d'immigration, déterminent l'attribution des visas et façonnent la composition de

¹⁶ Voici, à titre d'exemple, le plan des niveaux d'immigration 2024-2026 ([Gouvernement du Canada : Avis – Renseignements supplémentaires sur le Plan des niveaux d'immigration 2024-2026](#))

la population immigrante en fonction des priorités nationales et des besoins de la société.

Compte tenu de la diversité des vecteurs, des contextes et des résultats, il est difficile d'établir une relation générale entre les changements climatiques et la migration. La fréquence, la gravité des sinistres, la durée et la portée géographique des facteurs climatiques varient considérablement, tandis que les réponses à la migration sont façonnées par une interaction complexe de facteurs culturels, démographiques, économiques, politiques et sociaux à différentes échelles.

Dans l'état actuel des choses, il y a trop d'incertitude, ne serait-ce que pour évaluer l'incidence directionnelle potentielle des changements climatiques sur les tendances migratoires au Canada. Bien qu'il s'agisse d'un sujet important qu'il importe de suivre dans l'avenir, le BAC ne prévoit pas d'apporter des ajustements pour intégrer les changements climatiques dans son processus d'établissement de l'hypothèse de taux de migration nette lors de son prochain cycle d'évaluation actuarielle (31 décembre 2024).

4 Hypothèses économiques

Les changements climatiques ont des répercussions importantes qui peuvent aller bien au-delà des préoccupations environnementales; ils peuvent avoir une incidence sur les principaux indices économiques et entraîner des coûts directs et indirects pour l'économie canadienne.

Dans le contexte de la préparation de rapports actuariels pour le RPC, le programme de la SV et les régimes de retraite du secteur public, le BAC élabore des hypothèses pour un large éventail de variables macroéconomiques canadiennes comme l'inflation, les taux de chômage et de création d'emplois, les augmentations réelles des gains d'emploi, la croissance de la productivité, la croissance du PIB, et autres. Cette partie de l'étude traite des principaux facteurs dont il faut tenir compte pour évaluer les répercussions potentielles des risques liés au climat sur ces hypothèses économiques. Étant donné que les études portant sur l'économie canadienne sont limitées, certaines des analyses qui suivent s'inspirent de pays comparables.

Les deux premières sous-sections portent sur deux variables significatives : l'inflation et la croissance économique. La dernière sous-section traite de divers aspects à prendre en considération pour l'élaboration d'un cadre qui exprime les effets potentiels des changements climatiques sur la croissance économique sous la forme de variables pertinentes aux modèles du BAC. Le cadre sera utile pour illustrer les répercussions potentielles sur le coût du RPC, du programme de la SV et des régimes de retraite du secteur public.

4.1 Inflation

La Banque du Canada utilise l'indice des prix à la consommation (IPC) pour mesurer l'inflation¹⁷. L'IPC suit les dépenses du ménage canadien moyen et la façon dont elles changent au fil du temps. Les dépenses du ménage canadien moyen incluent l'alimentation, le logement, les transports, les dépenses ménagères, l'habillement, les soins de santé, etc. Chaque catégorie a une pondération selon le montant que le ménage moyen y consacre par rapport à d'autres; pour déterminer l'IPC, les plus importantes sont l'alimentation, le logement et les transports¹⁸, qui représentent un total d'environ 60 %.

Les effets potentiels des changements climatiques sur l'inflation ont beaucoup retenu l'attention ces derniers temps et sont analysés sous différents angles. Par exemple, dans un discours prononcé en 2022, Isabel Schnabel, membre exécutif de la Banque centrale européenne, a déclaré qu'il s'agissait d'une « nouvelle ère d'inflation énergétique¹⁹ » et a évoqué trois types d'inflation : « l'inflation climatique », qui est vue comme la hausse des prix découlant des risques physiques, « l'inflation fossile », qui exprime les changements issus de la fluctuation des coûts des combustibles fossiles, et « l'inflation verte », qui représente les changements de prix dus à la transition vers une économie verte. Bien qu'il soit utile de comprendre les trois types d'inflation et leur dynamique, la plupart des recherches portent sur les augmentations et les diminutions éventuelles de la pression inflationniste découlant des changements climatiques à un niveau global. La présente section utilise une approche

¹⁷ [Banque du Canada - L'indice des prix à la consommation expliqué](#)

¹⁸ [Statistique Canada : Pondérations du panier de l'Indice des prix à la consommation, Canada, provinces, Whitehorse, Yellowknife et Iqaluit](#)

¹⁹ [European Central Bank - A new age of energy inflation : climateflation, fossilflation and greenflation](#) (en anglais seulement)

semblable et aborde les pressions divergentes et leurs conséquences du point de vue des risques physiques et des risques de transition.

4.1.1 Risques physiques liés au climat

Les changements climatiques peuvent influencer l'inflation future au Canada par le biais des risques physiques liés au climat. De nombreuses études ont trouvé des preuves empiriques d'une relation positive entre la hausse de la température et le niveau d'inflation dans un pays. Comme les changements climatiques entraînent des chocs météorologiques plus fréquents et plus violents, la volatilité et l'hétérogénéité de l'inflation pourraient s'accroître, et les étés plus chauds pourraient entraîner des augmentations de l'inflation plus fréquentes et persistantes (Faccia et coll., 2021; Mukherjee et Ouattara, 2021; Kotz et coll., 2024; Li et coll., 2023). Au Canada, la température annuelle moyenne devrait augmenter et se situer entre 1,8 °C (RCP 2,6) et 6,3 °C (RCP 8,5) d'ici la fin du siècle, avec des variations selon la région et la saison²⁰. Par conséquent, à mesure que les étés chauds deviennent plus fréquents et plus intenses, des répercussions inflationnistes plus prononcées à l'avenir sont attendues.

Les événements liés au climat, comme les canicules, les sécheresses ou les tempêtes, peuvent avoir une incidence sur la productivité agricole²¹ (Cœuré, 2018; Lesk et coll., 2016), augmenter les coûts d'exploitation des entreprises (Rodrigues et coll., 2024; Yu et coll., 2022) et impacter négativement l'offre à l'échelle mondiale (Batten et coll., 2020). De plus, les événements liés au climat peuvent endommager les infrastructures, ce qui augmente les coûts de transport ou la nécessité de recourir à l'importation de biens. Cela peut entraîner des pressions à la hausse sur les prix et créer des retombées dans de nombreux pays (Klomp et Sseruyange, 2021; Peersman, 2018). Ces retombées pourraient se répercuter sur les consommateurs canadiens par une hausse du prix des biens, incluant l'alimentation, ce qui augmentera l'inflation à l'avenir.

D'autre part, à certains emplacements, les risques physiques liés au climat peuvent avoir des effets bénéfiques sur l'offre, favorisant la déflation.²² Des hivers plus chauds et la hausse des températures pourraient prolonger et améliorer la saison de croissance au Canada, ce qui favoriserait potentiellement la production agricole. La reconstruction qui suit des événements liés au climat peut également accroître les investissements et augmenter l'offre (Batten et coll., 2020).

En ce qui concerne la demande, les événements climatiques extrêmes comme les inondations et les feux de forêt peuvent nuire à la prospérité des ménages et des entreprises, et entraîner une baisse de la consommation et des investissements. Les événements liés au climat pourraient également ébranler la confiance envers les entreprises et entraîner une brusque liquidation sur les marchés boursiers, provoquant du même coup une hausse du coût du financement des nouveaux investissements, et réduisant ainsi la demande d'investissements. Ces répercussions sur la demande sont principalement déflationnistes, surtout si les pertes découlant des événements météorologiques ne sont pas assurées ou sont insuffisamment assurées (Batten et coll., 2016).

²⁰ [Environnement et ressources naturelles - Changements dans la température](#)

²¹ [Atlas climatique du Canada - Agriculture](#)

²² [Agriculture et Agroalimentaire Canada - Impacts du changement climatique sur l'agriculture](#)

4.1.2 Risques liés à la transition climatique

Les risques liés à la transition climatique ont d'importantes répercussions sur l'inflation future au Canada, et l'ampleur de ces répercussions dépend en grande partie des trajectoires de transition et des politiques climatiques.

Il existe généralement trois types de politiques climatiques pour réduire les émissions de carbone (Batten et coll., 2018). Le premier vise la réduction des émissions de carbone, en diminuant l'intensité énergétique, ainsi que la production et la consommation de produits à fortes émissions de carbone. Le deuxième cible l'amélioration de l'efficacité énergétique des produits et procédés existants, tandis que le troisième type est axé sur la transition vers les sources d'énergie renouvelable.

Le premier type de politiques climatiques, qui vise la réduction des émissions de carbone, peut avoir deux effets contraires sur l'inflation. Toutes choses égales par ailleurs, les politiques réduisant l'exploitation des combustibles fossiles, donc réduisant l'offre, peuvent réduire la croissance économique (Batten et coll., 2018), ce qui peut augmenter la pression sur l'inflation. La réduction de l'offre de combustibles fossiles devrait faire grimper son prix, ce qui a habituellement un effet direct et immédiat sur l'inflation, puisque les biens énergétiques jouent un rôle important dans les indices d'inflation. Au fil du temps, la hausse du prix des combustibles fossiles peut également contribuer indirectement à l'inflation, car la plupart des biens et des services nécessitent de l'énergie tout au long du processus de production et de transport. Du côté de la demande, la baisse de la demande étrangère en combustibles fossiles pourrait contrebalancer la hausse du prix du carbone due au premier type de politiques climatiques, ce qui exercerait une pression à la baisse sur l'inflation (Banque du Canada, 2022).

Les deuxième et troisième types de politiques climatiques obtiennent une réduction des émissions de carbone grâce aux progrès technologiques du côté de l'offre. Si l'instauration de ces politiques est réussie tout en évitant un choc d'offre important, les pressions inflationnistes issues d'autres facteurs liés au climat devraient être plus faibles (Batten et coll., 2020). De plus, ces types de politiques climatiques pourraient également faire baisser l'inflation au Canada. Certaines études montrent que si la hausse des prix causée par les politiques climatiques est contrebalancée par les progrès technologiques dans le secteur de l'énergie, une baisse globale des prix de l'énergie et une influence à la baisse sur l'inflation pourraient être observées (Apel, 2022; Way et coll., 2022).

Dans la pratique, un assortiment des différents types de politiques climatiques peut être mis en place pour lutter contre les changements climatiques, et leur efficacité dépendra des caractéristiques des politiques ainsi que de leur combinaison (Stern, 2006; Burniaux et coll., 2008). Différentes méthodes de réduction des émissions de carbone auront une incidence différente sur les prix de l'énergie et d'autres produits. Selon certaines méthodes, les prix seraient plus stables et plus prévisibles, tandis que selon d'autres, les prix pourraient être plus instables, ce qui augmenterait les fluctuations de l'inflation dans le temps (Mckibbin et coll., 2017; Molico, 2019).

4.1.3 Conclusion

Les deux sous-sections précédentes ont exploré les différentes façons par lesquelles les changements climatiques peuvent influencer l'inflation future au Canada. Ils peuvent provoquer des chocs tant du côté de l'offre que de la demande, ce qui exercerait des pressions contradictoires sur l'inflation. L'effet net des changements climatiques dépend de l'ampleur des événements climatiques futurs ainsi que de la conception et de la mise en œuvre des politiques climatiques.

De plus, le moment où les changements climatiques pourraient avoir des répercussions sur l'inflation varie selon le type de risque en cause. Les risques physiques aigus peuvent causer des chocs immédiats à l'économie qui persistent à moyen terme, tandis que les répercussions des risques physiques chroniques se font sentir à moyen et à long terme. Par ailleurs, la conception et la mise en œuvre de politiques climatiques peuvent avoir une incidence sur le moment où les effets se font sentir sur l'inflation. Une transition progressive permet de répartir les répercussions dans le temps, tandis qu'une transition différée et soudaine entraînerait des chocs plus importants et immédiats.

Il importe également de souligner que, bien que les risques liés au climat puissent avoir des répercussions économiques durables, les banques centrales disposent d'une gamme d'outils pour gérer l'inflation et la stabiliser vers sa cible à long terme (Batten et coll., 2016; McKibbin et coll., 2017). Au nombre de ces outils, figure l'intégration des changements climatiques dans leurs cadres de modélisation et de politiques (Batten et coll., 2020; Boneva et coll., 2022; NGFS, 2020).

Compte tenu des travaux de recherche effectués, et de l'incertitude qui caractérise le contexte environnemental et économique dans l'avenir, le BAC n'est pas prêt à intégrer l'incidence potentielle des changements climatiques sur l'inflation dans ses hypothèses fondées sur la meilleure estimation pour le prochain cycle d'évaluation actuarielle (31 décembre 2024). Cependant, il convient d'examiner les projections d'inflation futures selon différents scénarios climatiques, ce qui est le sujet de la sous-section suivante.

4.1.4 Analyse quantitative de l'inflation prévue

Bien qu'il existe de nombreuses projections d'inflation selon les scénarios climatiques à l'échelle mondiale qui sont accessibles au public, il y en a peu qui ciblent le Canada et elles donnent des résultats contradictoires.

La présente section passe en revue de potentielles projections d'inflation qui utilisent la base de données des scénarios climatiques du NGFS (Réseau des banques centrales et des superviseurs pour le verdissement du système financier)²³. À cette fin, trois scénarios du NGFS ont été sélectionnés, chaque scénario représentant différentes trajectoires des politiques de transition climatique et des incidences physiques de 2022 à 2050 :

- Scénario en deçà de 2 °C : il prévoit une augmentation progressive de la rigueur des politiques climatiques afin de potentiellement limiter le réchauffement planétaire en deçà de 2 °C.

²³ Les données utilisées pour cette étude proviennent de la publication *NGFS Scenarios Phase IV*. Bien qu'une actualisation ultérieure des données ait été publiée dans la publication *NGFS Scenarios Phase V* au cours du second semestre de 2024, elle n'a pas été intégrée en raison du calendrier de cette étude.

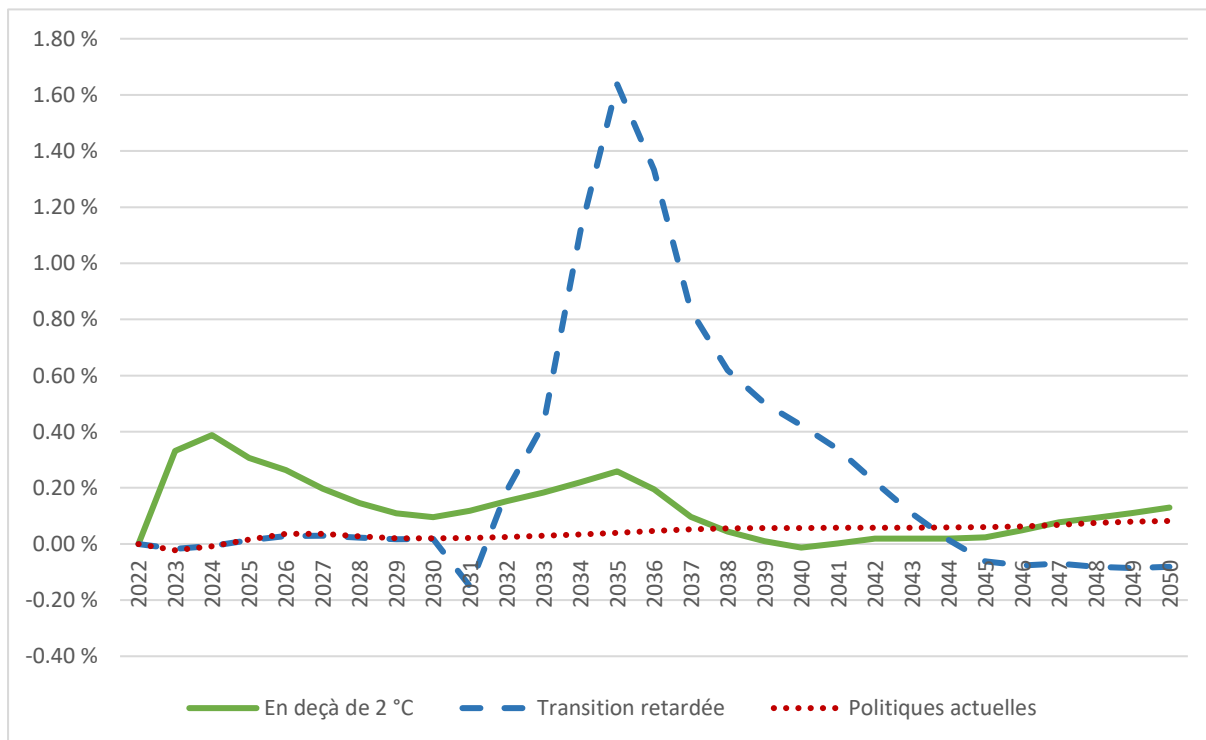
- Scénario de la transition retardée : il prévoit que les émissions annuelles ne diminueront pas avant 2030; il faudra donc des politiques climatiques plus perturbatrices et plus strictes pour limiter le réchauffement en deçà de 2 °C.
- Scénario des politiques actuelles : il suppose que seules les politiques actuellement mises en œuvre sont préservées, ce qui entraîne des risques physiques élevés.

Les graphiques 1 et 2 ci-dessous montrent l'incidence prévue de l'inflation, mesurée en pourcentage absolu par rapport au scénario de référence, pour le Canada et les États-Unis, respectivement. Le NGFS définit le scénario de référence comme un scénario hypothétique ne comportant aucun risque physique ou de transition.

Les deux graphiques montrent une tendance semblable de l'incidence de l'inflation. Selon le scénario « En deçà de 2 °C », l'inflation augmente à court et moyen terme, mais son incidence globale est moins importante que pour le scénario « Transition retardée », où une hausse radicale de l'inflation peu après le début de la transition est observée. Enfin, l'incidence globale dans le cadre du scénario « Politiques actuelles » est la plus faible, car la transition climatique n'entraîne pas de répercussion; ce sont les risques physiques qui en comportent le plus, mais ceux-ci ne devraient pas être très importants au Canada et aux États-Unis d'ici 2050.

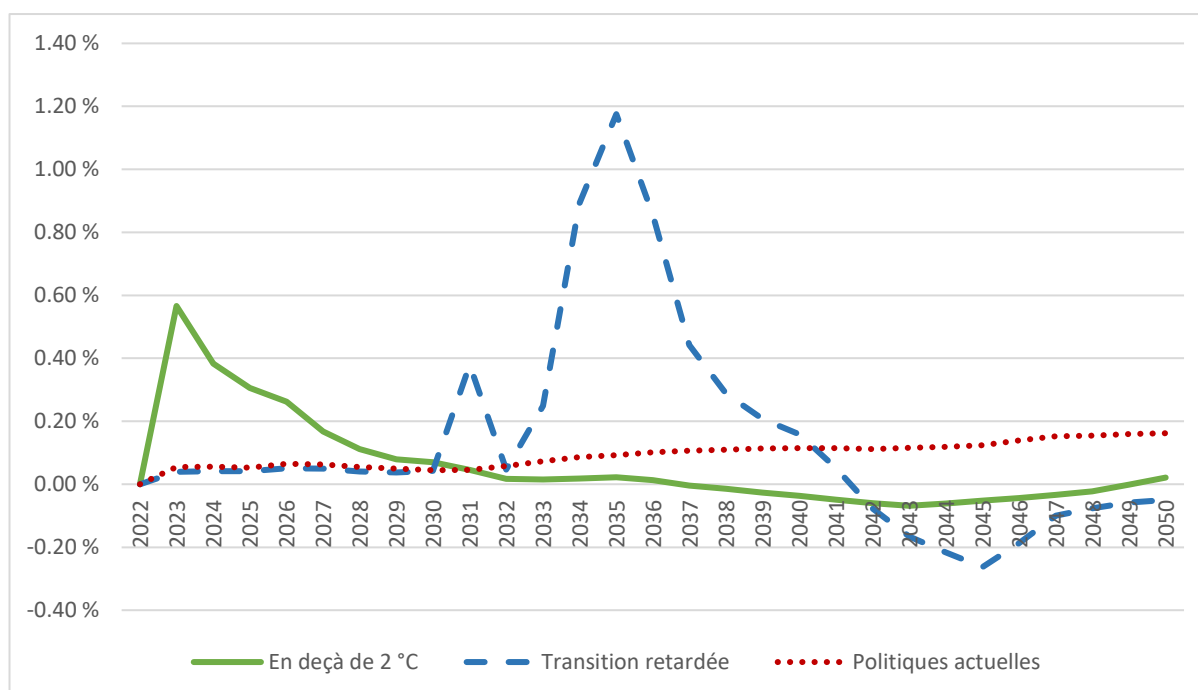
Bien qu'il serait utile d'avoir des projections au-delà de 2050 pour évaluer l'incidence des risques physiques à long terme sur l'inflation, particulièrement en ce qui concerne le scénario des politiques actuelles, elles ne sont pas directement disponibles dans la base de données des scénarios climatiques du NGFS.

Graphique 1 Incidence de l'inflation au Canada (variation absolue en % par rapport au scénario de référence)



Source : Base de données du scénario climatique du NGFS et de l'IIASA (publication NGFS Scenarios Phase IV), modèle économétrique NiGEM avec intrants REMIND.

Graphique 2 Incidence de l'inflation aux États-Unis (variation absolue en % par rapport au scénario de référence)



Source : Base de données du scénario climatique du NGFS et de l'IIASA (publication NGFS Scenarios Phase IV), modèle économétrique NiGEM avec intrants REMIND.

4.2 Croissance économique

Comme il a été mentionné précédemment, les risques liés au climat peuvent entraîner des coûts directs et indirects pour l'économie, affectant autant la productivité que la croissance économique. La croissance économique peut être mesurée à l'aide du PIB, qui détermine la valeur totale des biens et services produits par un pays. La croissance de la productivité est mesurée à l'aide d'indicateurs comme le PIB par habitant ou le PIB par heure travaillée; ceux-ci mesurent l'efficacité des ressources utilisées pour générer la production économique. Ces indicateurs macroéconomiques peuvent mesurer les coûts économiques globaux des risques liés au climat.

4.2.1 Risques physiques aigus liés au climat

Selon le RE6 du GIEC, certaines régions du Canada ont déjà subi des dommages économiques directs, indirects et non marchands²⁴ en raison d'événements extrêmes de plus en plus fréquents. Par exemple, le *Livre d'information*²⁵ de 2023 du Bureau d'assurance du Canada montre que les sinistres moyens assurés qui sont attribuables aux événements météorologiques catastrophiques augmentent. En dollars canadiens de 2022, ils s'élevaient en moyenne à 0,4 milliard de dollars entre 1983 et 2000, à 0,7 milliard de dollars entre 2001 et 2010 et à 2,3 milliards de dollars entre 2011 et 2020. De plus, les pertes totales attribuables aux phénomènes météorologiques extrêmes au Canada sont estimées

²⁴ Il s'agit des dommages causés aux biens non-tangibles qui ne sont pas achetés ou vendus sur un marché traditionnel et qui n'ont donc pas un prix facilement observable (p. ex. perte de vie humaine, incidence sur la santé humaine, perte d'écosystème, menaces pour les espèces) (Boyd et Markandya, 2021).

²⁵ [Bureau d'assurance du Canada - Assurances de dommages au Canada 2023](#)

représenter le double du montant des pertes assurées (Boyd et Markandya, 2021).

Les événements climatiques extrêmes peuvent causer des dommages durables ou permanents aux terres, aux infrastructures et au capital productif. Ils peuvent également accroître le taux d'amortissement des immobilisations (Fankhauser et Tol, 2005) et détourner les ressources qui serviraient autrement à la recherche et au développement (Sawyer et coll., 2020), ce qui entraînerait une réduction de l'accumulation du capital productif (Batten et coll., 2020) et un ralentissement de la croissance économique.

Les risques physiques aigus liés au climat pourraient également perturber les échanges commerciaux internationaux, ce qui ralentirait également la croissance économique. Les changements de la productivité agricole, les perturbations de la chaîne d'approvisionnement causées par des phénomènes météorologiques extrêmes ou les fluctuations de la demande mondiale de marchandises vulnérables au climat peuvent nuire à la capacité d'exportation d'un pays et à sa capacité concurrentielle sur le marché international. La hausse des coûts d'importation en raison des risques liés au climat, comme l'augmentation des primes d'assurance ou des frais de transport, peut avoir une incidence négative sur les exportations nettes. Étant donné que les exportations nettes représentaient 68 % du PIB du Canada en 2022, ces perturbations constituent une menace pour la stabilité et la croissance économiques au Canada (Sawyer et coll., 2022).

Par ailleurs, certaines études mentionnent des périodes potentielles de croissance économique plus rapide à la suite d'événements extrêmes. Ainsi, l'augmentation des dépenses dans la foulée d'événements liés au climat peut stimuler l'économie et promouvoir l'essor économique à court terme (Sawyer et coll., 2022). De plus, toute réduction de l'offre de capital peut augmenter sa valeur si la demande reste la même ou augmente. La valeur accrue du capital peut attirer des investissements pour la reconstruction et la modernisation, ce qui stimule l'activité économique. Il se produit alors une réorientation de la main-d'œuvre et des ressources vers les efforts de reconstruction, ce qui peut mener à l'adoption de nouvelles technologies et infrastructures. Ces activités peuvent améliorer la productivité et promouvoir la croissance en optimisant l'utilisation des ressources, en stimulant l'innovation et en créant des emplois, ce qui produit en définitive une économie plus efficace et dynamique (Hsiang et Jina, 2014; Skimore et Toya, 2002; Yang, 2008). De plus, le remplacement des actifs obsolètes qui ont été détruits par des événements liés au climat peut stimuler la croissance économique à long terme (Cuaresma et coll., 2008; Hallegatte et Dumas, 2009; Hsiang et coll., 2011).

Dans l'ensemble, les publications qui traitent des répercussions économiques des catastrophes naturelles avancent des conclusions contradictoires, mais suggèrent généralement des effets négatifs à court et à moyen terme sur la croissance économique, dont la gravité varie en fonction du type de catastrophe, du niveau de développement du pays et de la vigueur de son secteur financier (Botzen, 2019; Cavallo et coll., 2010, 2021).

4.2.2 Risques physiques chroniques liés au climat

À l'instar des répercussions physiques aiguës, les risques physiques chroniques comme l'élévation de la température et la modification des régimes de précipitations peuvent également nuire à la croissance économique en causant des dommages durables aux terres, aux infrastructures et au capital productif (Revesz et coll., 2014; Stern, 2013).

De plus, comme il a été mentionné à la section 3.2 (Mortalité), les changements climatiques peuvent avoir des répercussions à long terme sur la santé et la mortalité humaines. Cela pourrait réduire l'offre de main-d'œuvre, la productivité et la croissance économique. Des études montrent que les changements climatiques peuvent avoir une incidence à long terme sur le rendement physique et cognitif des travailleurs, en particulier pour les professions situées dans des zones exposées à l'environnement et à des températures extrêmes (Aaron W Tustin et coll., 2018; Batten 2018; Hsiang et coll., 2017; Sawyer et coll., 2022; Teasdale et Panegyres, 2023; Tustin et coll., 2018). Par exemple, une étude axée sur le Canada examine les relations entre la production manufacturière et les températures extrêmes mesurées par le nombre de jours où la température est inférieure à -18 °C ou supérieure à 24 °C. L'étude révèle qu'au cours d'une année type, les températures extrêmes réduisent la production manufacturière annuelle de 2,2 %. Elle conclut également que si l'on tient compte des changements climatiques prévus, les pertes de production manufacturière varieront de 3,7 % à 7,2 % d'ici la fin du siècle (Kabore et Rivers, 2020). Vu que le secteur manufacturier représente environ 10 % du PIB du Canada, toute réduction de la productivité, même faible, peut entraîner des pertes importantes (Sawyer et coll., 2020).

Par contre, certains secteurs au Canada pourraient être avantagés par une hausse des températures. De nombreuses études montrent notamment que des saisons de croissance prolongées pourraient accroître la production agricole du Canada; les gains les plus importants se produiraient dans les provinces des Prairies (Amiraslany, 2010; Ayouqi et Vercammen, 2014; Ochuodho et Lantz, 2015; Reinsborough, 2003; Weber, 2003). Le tourisme est un autre secteur au Canada qui pourrait profiter du réchauffement climatique. Des études indiquent que l'augmentation des flux touristiques nets attribuable au réchauffement climatique pourrait compenser d'autres pertes économiques liées au climat, ce qui se traduirait par des gains nets modestes pour l'économie canadienne (Portner et coll. 2022; Lafakis et coll., 2019; OCDE, 2015²⁶; Scott et coll., 2019).

Les études sur les répercussions économiques des risques physiques chroniques sont limitées; la portée et la couverture sectorielle sont très restreintes et suggèrent des résultats mitigés (Boyd et Markandya, 2021). Aucune conclusion claire ne peut être tirée sur les répercussions que ces risques pourraient avoir sur la croissance économique future.

4.2.3 Risques liés à la transition climatique

Les risques liés à la transition climatique ont d'importantes répercussions sur les perspectives économiques au Canada, et l'ampleur de ces répercussions dépend en grande partie des trajectoires de transition et des politiques climatiques. Comme il a été mentionné à la section 4.1 (Inflation), il existe généralement trois types de politiques climatiques pour réduire les émissions de carbone (Batten et coll., 2018).

Lorsque la réduction des émissions de carbone doit se faire entièrement au moyen de diminutions de l'intensité énergétique et de la demande de combustibles fossiles (premier type de politiques climatiques), les baisses de la production qui en résulteront pourraient être importantes. Par exemple, une étude par Smulders et coll. (2014) montre qu'une réduction de 10 % de la consommation d'énergie mène à une baisse de la production

²⁶ [Organisation de coopération et de développement économiques \(OCDE, 2015\), *Les conséquences économiques du changement climatique*. Publications de l'OCDE, Paris.](#)

d'environ 1 %. Étant donné que le Canada est un exportateur de combustibles fossiles, il pourrait devoir faire face à des coûts importants en raison de la réduction des émissions à l'échelle nationale et de la baisse importante des exportations de combustibles fossiles. Une étude publiée par Zhao et coll. (2022) établit que la baisse des exportations de combustibles fossiles pourrait entraîner une perte cumulative du PIB de plus de 37 % pour le Canada d'ici 2100.

De plus, si les politiques climatiques visent uniquement la réduction de l'intensité énergétique, le besoin de mesures d'adaptation aux changements climatiques pourrait augmenter. Les fonds seraient donc consacrés à la réparation et au remplacement, et non aux occasions productives d'innovation et d'investissement, ce qui pourrait mener à une décroissance des investissements, à des gains de productivité plus faibles et à un ralentissement de la croissance économique (Pindyck, 2013; Stern, 2013).

Si la réduction des émissions de carbone est réussie et se produit de façon ordonnée grâce à des politiques qui mettent l'accent sur des initiatives de transition climatique, comme les infrastructures d'énergie renouvelable, les programmes d'efficacité énergétique et les projets de résilience climatique (deuxième et troisième types de politiques climatiques), elle pourrait favoriser une croissance économique plus forte au Canada. L'investissement accru dans ces initiatives de transition climatique peut stimuler l'innovation et les progrès technologiques, ce qui entraîne des gains de productivité et des réductions de coût dans l'ensemble des secteurs. Elles peuvent également créer une demande de biens et de services, stimuler la production et l'emploi, et générer des revenus pour les entreprises et les particuliers, ce qui favorise la croissance économique (Batten, 2018).

Enfin, l'investissement dans la transition climatique peut également soutenir la croissance économique par l'amélioration des facteurs environnementaux, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre, une meilleure qualité de l'air et de l'eau, et une amélioration de la durabilité de l'écosystème et de la biodiversité (Batten, 2018). Ces effets peuvent avoir des répercussions économiques positives en réduisant le coût des soins de santé, en atténuant les risques liés au climat et en contribuant à une productivité accrue du travail, ce qui encourage au bout du compte la croissance économique globale (Sawyer et coll., 2022; Groosman et coll., 2009).

4.2.4 Conclusion

Les trois sous-sections précédentes traitaient des effets potentiels des changements climatiques sur la croissance économique au Canada. Selon les résultats de la recherche, il est difficile de tirer des conclusions fermes sur la direction et l'ampleur des répercussions potentielles. La dynamique des pressions qui se font concurrence, assortie de la profonde interconnexion entre les risques physiques et de transition, rend difficile la quantification de l'effet net.

Comme c'était le cas pour l'inflation et compte tenu des travaux de recherche effectués, le BAC n'est pas prêt à intégrer de manière explicite l'incidence potentielle des changements climatiques sur la croissance économique dans ses hypothèses fondées sur la meilleure estimation pour le prochain cycle d'évaluation actuarielle (31 décembre 2024). Cependant, il convient d'examiner les projections selon différents scénarios climatiques, ce qui est le sujet de la section suivante.

4.3 Analyse quantitative

Au cours des dernières années, plusieurs organisations et organismes de réglementation mondiaux ont effectué une analyse de scénarios climatiques afin d'évaluer le risque, et ils ont publié leurs constatations. Les évaluations du risque portent sur diverses variables selon différents scénarios de trajectoire climatique. En général, ceux-ci reposent largement sur les profils RCP ou SSP utilisés dans les cinquième et sixième rapports du GIEC.

Une variable importante souvent analysée dans ces publications est le PIB. Cette mesure a l'avantage d'être bien comprise et largement utilisée. Théoriquement, il s'agit également d'une variable macroéconomique globale qui peut être utilisée pour ajuster les futurs environnements économiques et de placement.

Dans son 31^e Rapport actuariel sur le RPC au 31 décembre 2021 (RA31 du RPC), le BAC présente trois scénarios hypothétiques de changements climatiques comportant différents profils du taux de croissance du PIB nominal canadien par rapport à un scénario de référence²⁷ pour illustrer les répercussions potentielles des changements climatiques sur le TCM du RPC de base. Les scénarios hypothétiques présentés dans le rapport se fondent sur un examen de documents de recherche de sources publiques et privées qui rendent compte des différents niveaux d'exposition aux risques physiques et de transition découlant des changements climatiques. Un autre aspect important est que l'analyse visait à illustrer le risque à la baisse. Les scénarios sont donc délibérément défavorables et ne tiennent pas compte des effets potentiels des nouvelles technologies et des occasions d'affaires découlant d'une transition vers une économie à faibles émissions de carbone.

Le scénario 1 peut généralement être classé dans la catégorie « transition ordonnée ». Il suppose donc que des politiques climatiques efficaces sont instaurées tôt et progressivement afin de limiter le réchauffement climatique. À partir de 2020, les taux de croissance du PIB nominal du Canada sont inférieurs à ceux du scénario de référence, principalement en raison de perturbations économiques attribuables à l'adoption de politiques sur le changement climatique. L'écart cumulatif entre les projections du PIB et celles du scénario de référence passe à -10 % d'ici 2050, après quoi il demeure constant jusqu'en 2100.

En général, le scénario 2 peut être classé dans la catégorie « transition désordonnée/retardée ». Ce scénario suppose que des politiques sur le changement climatique ne seront pas instaurées avant 2030. Comparativement au scénario de référence, il n'y a donc aucune incidence sur le PIB avant cette année-là. Cependant, des mesures tardives se traduisent par une incidence plus importante que celle du scénario 1 après 2030. L'écart cumulatif par rapport au scénario de référence est de 0 % d'ici 2030, de -15 % d'ici 2050 et de -20 % d'ici 2100.

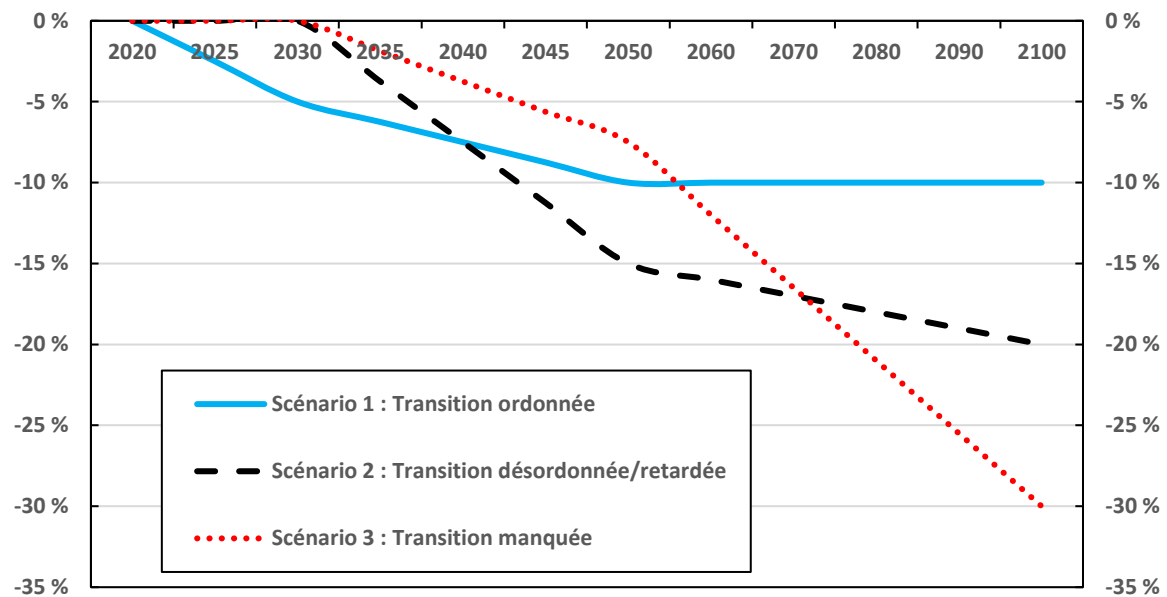
Le scénario 3 peut généralement être classé dans la catégorie « transition manquée ». Il suppose qu'aucune autre politique sur le changement climatique n'est instaurée. Jusqu'en 2050, l'écart par rapport au scénario de référence est moins élevé que celui des autres scénarios, mais les risques physiques aggravés attribuables à l'absence de mesures

²⁷ Les scénarios de référence des rapports publics peuvent varier et ne sont pas définis. Par conséquent, ils ne peuvent pas être évalués par rapport aux hypothèses fondées sur la meilleure estimation du RA31 du RPC. À titre d'illustration seulement, les différences par rapport aux scénarios de référence ont été appliquées aux hypothèses fondées sur la meilleure estimation du RA31 du RPC.

additionnelles pour lutter contre le changement climatique causent des conséquences importantes entre 2050 et 2100. L'écart cumulatif par rapport au scénario de référence est de 0 % d'ici 2030, de -8 % d'ici 2050 et de -30 % d'ici 2100.

Le graphique 3 montre la différence des taux de croissance du PIB du Canada de chaque scénario par rapport au scénario de référence.

Graphique 3 Scénarios climatiques illustratifs – Effet cumulatif sur le PIB nominal du Canada par rapport au scénario de référence



4.3.1 Cadre du RA31 du RPC qui a servi à traduire les effets sur le PIB à d'autres variables économiques

Selon la méthodologie actuelle du BAC, le PIB nominal devrait croître au même rythme que les revenus d'emploi totaux. Ces derniers découlent principalement des hypothèses sur le marché du travail (taux d'activité et taux de chômage et d'emploi) ainsi que de la croissance présumée des salaires réels et de l'inflation. De plus, l'hypothèse du taux d'augmentation des salaires réels dépend principalement de la croissance présumée de la productivité de la main-d'œuvre.

Dans les modèles du BAC, les variations de la croissance du PIB découlant des scénarios présentés au graphique 3 peuvent donc se traduire par une modification de la croissance des revenus d'emploi totaux, par le biais de changements aux hypothèses portant sur le marché du travail, la croissance des salaires réels et/ou l'inflation. Malheureusement, il existe peu d'études pour séparer les répercussions sur le PIB entre ces éléments de façon cohérente, surtout pour une période de projection qui dépasse 75 ans.

Le RA31 du RPC a adopté une approche simplifiée. En s'appuyant sur l'hypothèse des salaires réels, les variations de la croissance du PIB nominal du Canada en fonction de chaque scénario ont été traduites, selon la règle du « un pour un », en variations de la croissance des revenus d'emploi totaux. Selon ce cadre simplifié, aucun changement n'a été apporté au nombre d'emplois (marché du travail) ni à l'hypothèse d'inflation pour illustrer les différentes trajectoires possibles de l'emploi et de l'inflation par scénario.

4.3.2 Aspects à prendre en considération pour les ajustements au cadre du RA31 du RPC

Les changements aux revenus d'emploi totaux pourraient être considérés, en totalité ou en partie, par des modifications aux hypothèses concernant la population active. Au lieu de rendre compte de l'ensemble de la variation des gains d'emploi totaux par des réductions apportées à l'hypothèse de la croissance des salaires réels, la totalité ou une partie de la variation pourrait être reflétée par des réductions du nombre prévu d'emplois.

Par exemple, dans le scénario 2 (transition désordonnée/retardée), si l'incidence complète se répercute sur l'hypothèse des salaires réels, la croissance annuelle moyenne des salaires réels sur la période de 75 ans, soit de 2022 à 2096, s'établit à 0,52 %, comparativement à l'hypothèse fondée sur la meilleure estimation de 0,82 %, tandis que le taux d'emploi moyen (groupe d'âge de 18 à 69 ans pour le Canada excluant le Québec) sur la même période s'établit à 72,6 %. Cela correspond à l'approche utilisée dans les scénarios climatiques présentés dans le RA31 du RPC. Si l'incidence est répartie équitablement entre les variations de la croissance des salaires réels et le nombre d'emplois, la croissance annuelle moyenne des salaires réels sur la période de 75 ans, soit de 2022 à 2096, s'établit à 0,67 %, tandis que le taux d'emploi moyen (groupe d'âge de 18 à 69 ans pour le Canada excluant le Québec) sur la même période s'établit à 68,1 %.

Compte tenu du manque de recherches sur le sujet, il faudrait faire preuve de beaucoup de jugement pour séparer la variation des gains d'emploi totaux entre les salaires et le nombre d'emplois. Il est également important de garder à l'esprit que toute modification importante du nombre d'emplois projetés devrait tenir compte d'autres variables, notamment le comportement à l'égard de la retraite et l'immigration. Par exemple, une diminution du nombre d'emplois pourrait amener les gens à se prévaloir de leur pension du RPC plus tôt ou encore pourrait mener à une réduction de l'immigration au Canada. Il faut donc faire preuve de prudence lorsque la taille du marché du travail est modifiée, afin de maintenir une cohérence globale avec les autres hypothèses. L'ajout de la dynamique des risques climatiques complexifie davantage l'élaboration de scénarios cohérents.

À la lumière de ce qui précède, le BAC reste d'avis que le cadre simplifié, dans lequel la variation des gains d'emploi totaux est reflétée dans l'hypothèse des salaires seulement plutôt que dans une combinaison des hypothèses des salaires et du nombre d'emplois, demeure approprié. Toutefois, le BAC prévoit mener des recherches pour mettre à jour ses scénarios climatiques illustratifs sur la base d'informations disponibles plus récentes.

5 Hypothèses de placement

Cette partie de l'étude porte sur des facteurs à prendre en considération lors de l'évaluation des répercussions possibles des risques liés au climat sur les hypothèses de placement élaborées par le BAC lors de la préparation des rapports actuariels du RPC et des régimes de retraite du secteur public. Investissements RPC investit les actifs dont le RPC n'a pas immédiatement besoin pour verser les prestations, tandis qu'Investissements PSP joue un rôle semblable pour les régimes de retraite du secteur public. Les deux gestionnaires de placements détiennent des portefeuilles diversifiés et investissent à l'échelle mondiale dans un large éventail de catégories d'actif, comme les actions de sociétés ouvertes et de sociétés fermées, les obligations de sociétés et les obligations souveraines, ainsi que les actifs réels.

Un défi important se pose : les études sur le sujet sont limitées et portent principalement sur les perspectives à court terme, tandis que les projections du BAC portent sur une période beaucoup plus longue qui dépasse 75 ans. Un autre défi tient au fait que, comme les actifs du RPC et des régimes de retraite du secteur public sont investis dans des portefeuilles diversifiés à l'échelle mondiale, les répercussions potentielles des changements climatiques sur les hypothèses de placement doivent tenir compte de diverses catégories d'actifs dans différentes régions géographiques.

Les trois premières sections portent sur les effets potentiels des changements climatiques sur les taux de rendement des placements à revenu fixe, des actions et des actifs réels. Bien que la présente étude tienne compte individuellement de chaque catégorie d'actif, il est reconnu qu'elles n'existent pas de manière isolée. Il est possible qu'une incidence sur une catégorie d'actif puisse avoir une incidence indirecte sur une autre catégorie d'actif, car elles se font concurrence pour l'argent des investisseurs.

Dans la mesure du possible, les différentes sections abordent la façon dont les répercussions pourraient varier selon la région. La dernière section examine des facteurs à prendre en considération pour l'élaboration d'un cadre dont le BAC peut se servir pour quantifier les répercussions possibles des changements climatiques sur les taux de rendement globaux. Cette dernière section traite du RPC, étant donné qu'il s'appuie sur le cadre élaboré dans le RA31 du RPC.

5.1 Titres à revenu fixe

La présente section aborde les répercussions potentielles des risques liés au climat sur diverses catégories de placements en titres à revenu fixe. Les recherches traitent principalement des répercussions sur les taux obligataires pour les obligations souveraines et sur le coût d'emprunt pour les obligations de sociétés. Les taux obligataires et les coûts d'emprunt ont une corrélation négative avec le cours des obligations, ce qui signifie que, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation du taux obligataire ou du coût d'emprunt au cours d'une année donnée entraînera une diminution du taux de rendement pour cette année-là, et vice versa. Cela dit, toutes choses étant égales par ailleurs, un taux obligataire en équilibre permanent plus élevé produit un taux de rendement en équilibre permanent plus élevé, et vice versa. Le rendement moyen des placements à revenu fixe sur une plus longue période dépend donc également de l'ampleur et de la durée du changement des taux obligataires, ainsi que de la nature temporaire ou permanente de ces changements.

Comme mentionné à la section 4.1 (Inflation), le moment et l'ampleur de l'incidence des changements climatiques sur l'inflation ne sont pas clairs. Les hypothèses de rendement des titres à revenu fixe dans cette section sont axées sur les taux obligataires et rendements nominaux. Cependant, si l'inflation augmente en raison des changements climatiques, le rendement et le taux obligataire des placements à revenu fixe diminueront en termes réels. Les investisseurs exigeraient donc souvent des taux plus élevés pour pallier l'inflation, et les banques centrales augmentent habituellement les taux directeurs nominaux pour lutter contre l'inflation. Il convient de souligner que la correspondance entre ces variations de taux et l'inflation n'est pas univoque.

Bien qu'il n'y ait pas beaucoup de recherches qui donnent un aperçu direct de l'incidence des changements climatiques sur les taux et le rendement des titres à revenu fixe canadiens, les études menées dans d'autres pays peuvent s'avérer utiles et parfois pertinentes pour le Canada.

5.1.1 Obligations souveraines

De nombreux facteurs peuvent influencer sur les taux obligataires des obligations souveraines, notamment la dynamique entre l'offre et la demande, les attentes concernant l'inflation et les politiques budgétaires et monétaires. Les changements climatiques peuvent avoir des répercussions importantes et diverses sur les économies, notamment en influençant les politiques budgétaires et monétaires des gouvernements et des banques centrales du monde entier. Par exemple, après un événement lié au climat, les mesures prises en matière de politique monétaire pour assurer la stabilité économique au pays peuvent avoir une incidence sur les taux d'intérêt. Les variations des taux d'intérêt auraient une incidence directe sur les taux obligataires et le rendement des titres à revenu fixe.

Un autre facteur qui influence directement le taux des obligations souveraines d'un pays est son risque souverain, et il existe plusieurs manières dont les risques climatiques peuvent avoir des répercussions sur celui-ci. Pris isolément, une augmentation du risque souverain se traduirait normalement par des taux obligataires plus élevés, et vice versa.

En premier lieu, la détérioration du capital naturel²⁸ en raison des changements climatiques peut accroître les risques souverains (Pinzon et coll., 2020). Selon Pinzon et coll. (2020), la valeur des obligations souveraines dépend en partie de la gestion par le pays de son capital naturel. Les marchés d'État souverains peuvent souvent négliger ou sous-estimer cette dépendance, ce qui peut mener à une mauvaise évaluation des obligations souveraines, à une représentation inexacte de leur valeur réelle et du risque qu'elles représentent face aux défis environnementaux. Cela pourrait éventuellement se traduire par des taux obligataires plus élevés. Les obligations souveraines canadiennes sont vulnérables aux effets de la détérioration du capital naturel, étant donné que l'économie dépend des ressources naturelles. En 2021, plus de 50 % des exportations totales du Canada étaient des produits issus des ressources naturelles²⁹, lesquelles représentaient 1,6 million d'emplois et 17 % du PIB. À l'échelle mondiale, cette situation s'applique particulièrement aux pays des marchés émergents qui dépendent dans une plus grande mesure du capital naturel pour la croissance économique.

²⁸ Le capital naturel fait référence aux ressources naturelles, renouvelables et non renouvelables, qui englobent la géologie, le sol, l'air, l'eau et tous les êtres vivants.

²⁹ [Ressources naturelles Canada - 10 faits sur les ressources naturelles au Canada](#)

En second lieu, comme abordé à la section 4.2 (Croissance économique), les risques physiques aigus comme les inondations, les feux de forêt et d'autres catastrophes naturelles liées au climat peuvent avoir une incidence négative sur la croissance économique. Les conséquences budgétaires de tels événements peuvent à leur tour avoir une incidence sur le risque souverain et les taux obligataires. Bien qu'il existe des possibilités de regain de la croissance économique après des événements extrêmes, les études suggèrent généralement des effets négatifs à court et à moyen terme sur la croissance économique. Cela peut avoir une incidence négative sur les recettes fiscales et autres recettes publiques du pays (Schuler et coll., 2019) et des effets défavorables sur le coût des emprunts souverains, entraînant possiblement une hausse des taux obligataires. Un développement économique et des perspectives de croissance plus faibles peuvent également entraîner une fuite des investisseurs, ce qui accroît le taux des obligations souveraines (Beirne et coll., 2020).

La vulnérabilité accrue d'un pays et sa résilience plus faible aux risques liés au climat peuvent entraîner une augmentation du risque souverain et du taux obligataire. Entre ces deux facteurs, la vulnérabilité aux événements liés au climat a un effet plus important sur le taux des obligations souveraines que le niveau de résilience climatique (Beirne et coll., 2020). Les répercussions de la vulnérabilité aux risques liés au climat sont moins prononcées pour les économies des pays avancés que pour celles des pays émergents. Ces derniers sont particulièrement exposés aux changements climatiques et ont une capacité réduite d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques (Beirne et coll., 2020; Cevik et Jalles, 2020). Par exemple, selon Beirne et coll. (2020), la prime sur le taux des obligations souveraines découlant de la vulnérabilité accrue aux risques climatiques est la plus élevée pour un groupe de pays plus exposés aux événements liés au climat³⁰; elle revient à 275 points de base pour ce groupe, comparativement à 155 points de base pour l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est, et à 113 points de base pour l'Europe et le Moyen-Orient.

La troisième manière dont les risques et le taux des obligations souveraines sont touchés est celle des répercussions budgétaires de la mise en œuvre des politiques d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques. Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques peuvent avoir une incidence directe sur les budgets publics en ce qui a trait aux dépenses, tandis que les politiques d'atténuation des changements climatiques peuvent avoir une incidence en ce qui a trait aux recettes publiques (Bachner et coll., 2019). Les politiques de la transition comportent encore beaucoup d'incertitudes, et il pourrait y avoir des variations dans les budgets publics à court et à moyen terme qui influent sur le risque souverain. Mais dans l'ensemble, une adaptation et une atténuation efficaces des changements climatiques pourraient réduire les risques souverains et les taux obligataires (Beirne et coll., 2020; Cevik et Jalles, 2020).

La capacité des pays développés et en développement à réduire leurs émissions se distingue en raison de plusieurs facteurs. Les pays développés, qui ont des coûts d'emprunt plus bas, un PIB par habitant plus élevé et une plus grande stabilité économique, peuvent plus facilement adopter l'énergie propre et réduire leur dépendance aux combustibles fossiles. En raison de leurs contraintes financières et de leur volatilité économique, les pays en développement pourraient se heurter à des défis, ce qui exigerait un soutien extérieur et des

³⁰ Japon, Pays-Bas, République de Corée, Sri Lanka, Singapour, Philippines, Vietnam, Thaïlande, Indonésie et Inde (Beirne et coll., 2020).

transferts de technologies. En dépit du potentiel de croissance économique à long terme de l'énergie propre, les pays en développement pourraient être contraints à prioriser le remboursement de la dette à court terme et pourraient être confrontés à un soutien extérieur incertain, ce qui inciterait les investisseurs à exiger des taux obligataires plus élevés en raison des risques perçus (Eicke et coll., 2021). De plus, les rentes élevées sur les ressources naturelles dans les pays en développement rendent le passage à l'énergie propre moins attrayant que dans les économies des pays avancés, où les conditions et des politiques favorables soutiennent mieux la transition vers une économie à faibles émissions de carbone (Collender et coll., 2022).

Il existe peu d'études qui quantifient les effets des politiques climatiques sur le taux des obligations souveraines, bien qu'une étude récente fasse état de résultats variés pour les marchés développés et les marchés émergents. L'étude cible les répercussions des risques liés à la transition climatique sur les taux et les écarts des obligations souveraines. Elle suggère une corrélation positive entre les émissions de dioxyde de carbone et les taux et écarts des obligations souveraines, une relation qui vaut à la fois pour les pays avancés et les pays en développement (Collender et coll., 2022). La même étude montre que les pays avancés dont les ressources naturelles sont réduites et la consommation d'énergie renouvelable est accrue ont des coûts d'emprunt souverain moins élevés, tandis que les pays en développement dont la consommation d'énergie est semblable pourraient avoir des coûts d'emprunt plus élevés (Collender et coll., 2022).

5.1.2 Obligations de sociétés

Comme discuté à la section précédente, les changements climatiques peuvent avoir des répercussions sur les marchés des obligations souveraines par le biais de différents modes, y compris l'environnement économique en général. De façon similaire, le rendement des obligations de sociétés peut également subir ces effets. De plus, les obligations de sociétés sont exposées à d'autres effets négatifs potentiels des changements climatiques, découlant à la fois des risques de transition et physiques. Les sociétés qui ont une exposition plus importante à ces risques peuvent voir la cote de leurs obligations baisser, ce qui entraîne une augmentation des coûts d'emprunt. Au bout du compte, le scénario de la pire éventualité serait une faillite d'entreprise et un défaut de l'émetteur à ses obligations.

En ce qui concerne les risques physiques liés au climat, l'emplacement géographique d'une entreprise détermine son exposition et sa vulnérabilité aux événements liés au climat. Les lieux à exposition et à vulnérabilité élevées peuvent avoir une incidence sur la stabilité financière en raison de dommages potentiels, de perturbations des activités, de primes d'assurance plus élevées et de la perturbation des chaînes d'approvisionnement (p. ex. Bocchio et coll., 2023). Ces risques peuvent augmenter les coûts de financement des entreprises et avoir une incidence sur l'accès au financement (Javadi et Masum, 2021; Kling et coll., 2021) ce qui, pris isolément, augmenterait le coût d'emprunt. Cependant, il est difficile en pratique d'évaluer l'incidence de la vulnérabilité climatique sur le taux des obligations de sociétés, car les entreprises peuvent réduire l'exposition aux risques physiques en choisissant des régions où le risque est moindre ou en se réinstallant ailleurs lorsque les coûts augmentent. Les conclusions sur les décisions de réinstallation sont toutefois variables (Kocornik-Mina et coll., 2015; Indaco et coll., 2019). De plus, les entreprises peuvent également se diversifier en exerçant leurs activités à plusieurs endroits, en conciliant les coûts de réinstallation avec le maintien de réseaux de clients, de fournisseurs et

d'investisseurs (Jiang et coll., 2019).

En ce qui a trait aux risques liés à la transition climatique, les entreprises sont confrontées à un éventail de défis qui peuvent avoir une incidence importante sur leurs risques de crédit et leurs coûts d'emprunt. L'évolution du cadre réglementaire à l'égard de la transition climatique a une incidence majeure. Les entreprises qui ne s'adaptent pas à ces changements ou qui n'investissent pas dans des pratiques durables seront exposées à des risques réglementaires et juridiques plus élevés, ce qui entraînera des coûts d'emprunt plus élevés (Carbone et coll., 2021; Mueller et coll., 2022). De plus, les progrès technologiques, l'évolution des préférences des consommateurs et la dynamique du marché vers la durabilité peuvent entraîner une réduction de la part de marché et des revenus pour les entreprises dont les modèles d'affaires n'ont pas été adaptés. Enfin, les attentes des investisseurs et des prêteurs évoluent et accordent de plus en plus d'importance aux facteurs environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) dans leurs décisions de placement. Les entreprises perçues comme ayant un retard dans la gestion de leurs risques liés à la transition climatique pourraient être confrontées à des coûts d'emprunt plus élevés (Seltzer et coll., 2022).

Les recherches qui quantifient les répercussions potentielles des changements climatiques sur les obligations des sociétés sont limitées. Une étude récente a montré que les prix courants et les différentiels de taux des obligations de sociétés ne reflètent pas systématiquement le risque lié à la transition vers une économie à faibles émissions de carbone ni le risque climatique physique. Le coût prévu des changements climatiques pourrait potentiellement constituer un risque pour la valeur des actifs des entreprises, et les pertes sont susceptibles d'être suffisamment importantes pour nuire à la valeur des obligations, même selon un scénario moins radical de température cible de 3 °C (Mastouri et coll., 2022).

5.1.3 Possibilités liées au climat pour le marché des titres à revenu fixe

Bien que les changements climatiques présentent des risques supplémentaires pour le marché des titres à revenu fixe, ils offrent également des possibilités de croissance et de rendements accrus. Par exemple, l'investissement à retombées sociales par l'émission d'obligations thématiques, comme les obligations vertes³¹, peut avoir des répercussions positives sur le bien-être social et l'économie en général (Bisultanova, 2023; Maltais et Nykvist, 2020; Nenonen et coll., 2019). Ces investissements peuvent également stimuler l'innovation technologique et créer des emplois dans des secteurs émergents comme l'énergie propre et l'infrastructure écologique, ce qui mène à de nouvelles industries et à des possibilités économiques (Rao et coll., 2022; Ren et coll., 2024). Les gouvernements et les entreprises peuvent émettre des obligations vertes.

Malgré une période relativement courte de données sur le rendement passé, les placements en obligations vertes réalisent souvent un rendement concurrentiel, qui peut parfois dépasser celui des obligations traditionnelles. Les recherches sur le rendement financier des obligations vertes montrent des résultats variables (Flammer, 2018; Karpf et Mandel, 2017; Lacker et coll., 2019), mais l'intérêt croissant des investisseurs indique que les obligations

³¹ [World Economic Forum - What are green bonds and why is this market growing so fast?](#) (en anglais seulement)

vertes représentent un choix de placement viable et potentiellement avantageux³².

5.1.4 Conclusion

D'après les recherches effectuées, les perspectives concernant les répercussions des changements climatiques sur les obligations souveraines sont incertaines. En raison des risques physiques, il est possible que les taux obligataires augmentent et aient une incidence sur les placements en titres à revenu fixe dans les marchés développés et les marchés émergents, ces derniers étant probablement exposés à des répercussions plus graves. Par ailleurs, les risques liés à la transition climatique sont plus incertains et dépendront des politiques climatiques qui seront adoptées. En l'absence de politiques climatiques efficaces, les marchés émergents pourraient connaître des tensions financières plus prononcées que les marchés développés. Dans le cas des obligations de sociétés, une instabilité économique généralisée et des risques propres à l'entreprise pourraient exacerber ces répercussions.

Les investissements à retombées sociales, comme les obligations vertes, constituent un moyen constructif de financer des projets écologiques qui contribuent à gérer les risques financiers liés au climat tout en offrant des avantages socioéconomiques à long terme.

Malgré la sensibilisation croissante à ces risques et occasions, il est difficile d'évaluer si les marchés obligataires actuels les intègrent dans les prix et dans quelle mesure. Il est donc problématique d'établir s'il faut ajuster le processus d'établissement des hypothèses du BAC pour y intégrer explicitement les changements climatiques sur les taux obligataires et les rendements des titres à revenu fixe, ou encore comment le faire. Compte tenu de ces complexités et incertitudes, à ce stade, l'analyse de scénarios est l'approche privilégiée par le BAC plutôt que le réajustement des hypothèses fondées sur la meilleure estimation.

5.1.5 Analyse quantitative des taux obligataires prévus

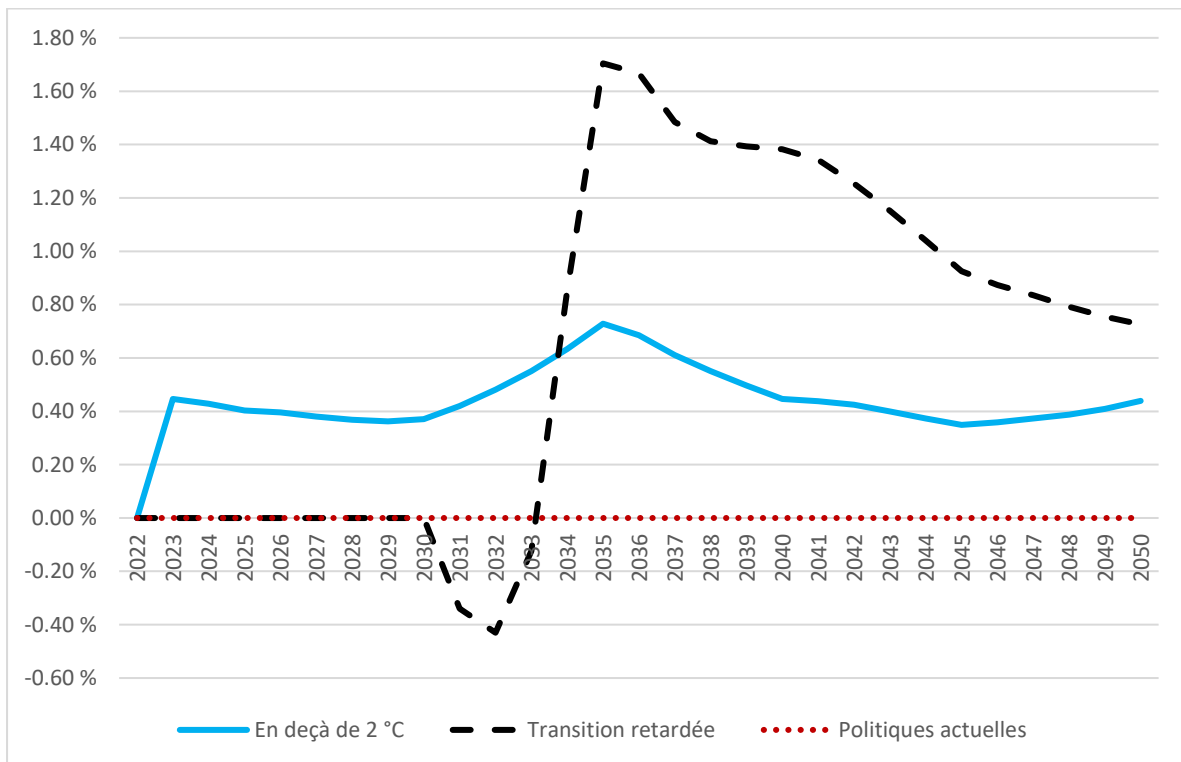
Cette section illustre les répercussions possibles des changements climatiques sur les projections des taux directeurs nominaux canadiens à l'aide de la base de données des scénarios climatiques du NGFS³³. Les taux directeurs nominaux sont considérés comme un indicateur raisonnable des taux des obligations fédérales à long terme au Canada, car ils reflètent la position de la Banque du Canada à l'égard de la politique monétaire, laquelle influe sur les taux d'intérêt dans l'économie.

Les mêmes scénarios NGFS que dans la section 4.1 (Inflation) ont été repris, soit le scénario « en deçà de 2 °C », le scénario « transition retardée » et le scénario « politiques actuelles ». Le graphique 4 ci-dessous montre l'incidence prévue par le NGFS sur les futurs taux directeurs nominaux au Canada, mesurés en pourcentage absolu par rapport au scénario de référence. Le NGFS définit le scénario de référence comme un scénario hypothétique ne comportant aucun risque physique ou de transition.

³² [Green bonds : Is doing good compatible with doing well in fixed income? \(Obligations vertes : y a-t-il compatibilité entre faire le bien et obtenir de bons résultats en titres à revenu fixe?\)](#) | J.P. Morgan Asset Management (jpmorgan.com)

³³ Les données utilisées pour cette étude proviennent de la publication *NGFS Scenarios Phase IV*. Bien qu'une actualisation ultérieure des données ait été publiée dans la publication *NGFS Scenarios Phase V* au cours du second semestre de 2024, elle n'a pas été intégrée en raison du calendrier de cette étude.

Graphique 4 Taux directeurs nominaux au Canada (variation absolue en % par rapport au scénario de référence)



Source : Base de données du scénario climatique du NGFS et de l'IIASA (publication NGFS Scenarios Phase IV), modèle économétrique NiGEM avec intrants REMIND.

Dans le scénario « en deçà de 2 °C », les taux directeurs nominaux augmentent à court et à moyen terme, tandis que des variations beaucoup plus importantes sont prévues dans le cadre de la « transition retardée ». Selon ce scénario, il n'y a pas d'écart par rapport au scénario de référence avant 2030. Puis, à mesure que la transition a lieu, une brève diminution est suivie d'une augmentation en pointe, puis d'une baisse graduelle jusqu'à un niveau ultime supérieur à celui du scénario « en deçà de 2 °C ». Enfin, il n'y a aucune incidence sur les taux directeurs nominaux selon le scénario des « politiques actuelles » puisqu'il n'y a aucune incidence de la transition climatique et que les répercussions physiques chroniques ne se font sentir qu'après 2050.

À l'instar de la section 4.1 (Inflation), les données du NGFS ne sont disponibles que jusqu'en 2050, tandis que la période de projection des hypothèses de placement du BAC dépasse 75 ans.

5.2 Actions

De nombreuses études évoquent des répercussions négatives sur le rendement des actions, découlant d'une exposition accrue aux risques physiques et de transition liés au climat, ainsi qu'un risque accru de pertes financières en raison des actifs délaissés. Les répercussions seront différentes d'une région à l'autre, mais ce sont les marchés émergents qui devraient être les plus durement touchés. À l'inverse, les changements climatiques peuvent créer de nouvelles possibilités dans les secteurs liés aux énergies renouvelables et aux technologies écoénergétiques.

Étant donné que la mesure dans laquelle les répercussions des changements climatiques ont été intégrées au rendement des actions n'est pas connue, il est d'autant plus compliqué d'évaluer l'incidence future des changements climatiques sur le rendement des actions. La présente section examine ces thèmes plus en détail.

5.2.1 Risques physiques et de transition

La fréquence et la gravité croissantes des événements liés au climat sont susceptibles d'augmenter les coûts liés à la réparation des actifs endommagés et aux primes d'assurance³⁴, ce qui pourrait entraîner une baisse du rendement des actions. Ces événements pourraient également perturber les activités et les chaînes d'approvisionnement, entraînant des pertes de revenu et des inefficacités (Bocchio et coll., 2023), tout en exigeant des investissements importants dans des mesures de résilience qui détournent les capitaux d'autres possibilités de croissance (Batten et coll., 2020).

De nombreuses études montrent que le rendement des actions varie de manière prévisible en fonction de l'exposition physique des entreprises aux changements climatiques. Les entreprises dont l'exposition aux changements climatiques est élevée et dont la sensibilité aux changements de température est forte devraient connaître un rendement plus faible de leurs actions (Sun et coll., 2022; Kumar et coll., 2019; Pankratz, 2018).

De plus, les coûts liés à la réglementation et à la conformité qui sont associés aux nouvelles politiques climatiques peuvent créer un fardeau financier et réduire la rentabilité et les taux de rendement futurs (Darnall, 2009; Hengge et coll., 2023). Les actifs délaissés³⁵, soit ceux qui font l'objet d'une baisse de valeur, d'une dévaluation ou encore d'une conversion d'actif en passif, inattendues ou anticipées, ajoutent un risque à la valeur des actifs, car ils peuvent devenir obsolètes ou perdre de leur valeur en raison des règlements afférents au climat. Une étude indique que pour limiter le réchauffement à moins de 2 °C, un tiers des réserves actuelles de pétrole, la moitié des réserves actuelles de gaz et les quatre cinquièmes des réserves actuelles de charbon à l'échelle mondiale doivent rester souterraines et inutilisées jusqu'en 2050 (McGlade et Ekins, 2015). L'évaluation de ces risques de transition climatique s'applique tout particulièrement aux marchés développés. Ce sont traditionnellement les plus lourds émetteurs de carbone au monde³⁶ et ils pourraient être confrontés à des transformations majeures à mesure que le monde se détourne des combustibles fossiles.

5.2.2 Intégration des risques physiques et de transition au prix

Des études suggèrent que les risques physiques liés au climat ne sont pas pleinement pris en compte dans le cours des actions ou encore qu'ils sont mal évalués (Brunetti et coll., 2021; Eren et coll., 2022). Les investisseurs en actions doivent composer avec des renseignements limités lorsqu'ils évaluent l'augmentation prévue du risque physique dans leurs portefeuilles d'actions. Ils doivent également se faire une opinion sur la probabilité de divers scénarios climatiques et leurs répercussions sur les risques physiques dans le monde, en se fondant sur la science du climat en constante évolution, ainsi que sur les politiques attendues d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation. Même lorsque les investisseurs

³⁴ [Gestion des risques climatiques – Bureau du surintendant des institutions financières \(osfi-bsif.gc.ca\)](https://www.osfi-bsif.gc.ca)

³⁵ [International Renewable Energy Agency - Stranded Assets and Renewables](https://www.irena.org) (en anglais seulement)

³⁶ [Developed Countries Are Responsible for 79 Percent of Historical Carbon Emissions \(Les pays développés sont responsables de 79 % des émissions historiques de carbone\)](https://www.cgdev.org) | Centre pour le développement mondial (cgdev.org) (en anglais seulement)

sont en mesure d'évaluer correctement le risque physique lié au climat, l'horizon temporel au cours duquel ce changement est susceptible de se produire pourrait être plus long que l'horizon de placement de la plupart des investisseurs, y compris les investisseurs institutionnels (Brunetti et coll., 2021, Deghi et coll., 2020).

En ce qui concerne le risque lié à la transition, il ressort d'études récentes que les risques liés à la transition climatique sont de plus en plus pris en compte dans le rendement des actions, mais que le degré d'intégration varie selon les marchés et les secteurs (Broeders et coll., 2024; Giese et coll., 2021; Reboredo et Ugolini, 2020). De plus, les marchés européens sont plus sensibles aux risques liés à la transition climatique que le marché américain, car les investisseurs européens sont plus susceptibles de réduire la valeur des sociétés qui présentent un risque de transition élevé (Reboredo et Ugolini, 2020). Sur le marché boursier américain, seuls les risques de transition climatique liés aux politiques climatiques sont pris en compte, et cela était particulièrement manifeste de 2012 à 2018 (Faccini et coll., 2021).

Une étude récente du Fonds monétaire international axée sur le Canada (Yang et coll., 2023) indique que les risques liés à la transition climatique sont partiellement pris en compte dans le cours des actions. Plus particulièrement, les réactions observées dans le cours des actions du secteur pétrolier et gazier aux nouvelles positives et négatives au sujet des politiques d'atténuation sont asymétriques. Un assouplissement des mesures d'atténuation des changements climatiques se traduit par un choc favorable pour les sociétés pétrolières et gazières, mais le resserrement des politiques d'atténuation ne signale pas nécessairement un choc négatif. L'étude suggère également que les risques liés à la transition climatique sont partiellement pris en compte dans les rendements boursiers actuels au Canada.

5.2.3 Marchés émergents

Ce sont les marchés émergents qui risquent d'être les plus touchés par les changements climatiques, les pays d'Afrique, de la région Asie-Pacifique, du Moyen-Orient et de l'Amérique latine étant susceptibles d'essuyer les plus pertes les plus importantes sur le plan du PIB réel, comparativement aux pays d'Europe de l'Ouest et d'Amérique du Nord³⁷. Ces pertes du PIB pourraient entraîner une baisse du rendement des actions.

Les actions des marchés émergents pourraient être plus vulnérables aux risques liés au climat que les actions des marchés développés, puisque les pays des marchés émergents sont généralement plus exposés aux risques physiques liés au climat, comme les phénomènes météorologiques extrêmes, l'élévation du niveau de la mer et la rareté de l'eau (RE6 du GIEC). Ces risques peuvent avoir une incidence directe sur les activités, les chaînes d'approvisionnement et l'infrastructure des entreprises, entraînant des perturbations de la production, une augmentation des coûts et des dommages potentiels aux actifs. Les entreprises peuvent également avoir une capacité d'adaptation moindre et avoir davantage de difficulté à se remettre de ces événements, car les marchés émergents ont des ressources financières, une infrastructure et une capacité institutionnelle limitées par rapport aux marchés développés (Khan et coll., 2023; Saeed et coll., 2023). Cela peut exacerber les répercussions des risques liés au climat sur les activités et le rendement financier des entreprises.

³⁷ [RBC GMA - Le changement climatique et les marchés émergents](#)

De plus, les pays en développement dépendent davantage des ressources naturelles. Comme l'indique la section précédente, la détérioration du capital naturel peut accroître le risque souverain (Pinzon et coll., 2020), ce qui accroît la perception du risque des coûts du capital dans l'ensemble. De nombreux marchés émergents dépendent aussi fortement de secteurs sensibles au climat, comme l'agriculture, la foresterie, la pêche et l'extraction des ressources naturelles. Ces secteurs sont particulièrement vulnérables à la variabilité et aux changements climatiques, ce qui a une incidence sur les revenus, la rentabilité et le rendement des actions des entreprises (Portner et coll., 2022).

Comme indiqué à la section 3.3 (Migration), les pays en développement sont confrontés à des risques plus élevés associés à la migration, à une inégalité accrue et aux conflits, ce qui peut perturber leurs marchés intérieurs.

5.2.4 Possibilités liées au climat pour les actions

Bien que ces initiatives présentent des défis importants, la lutte contre les changements climatiques et la transition vers une économie plus durable et à faibles émissions de carbone offrent également des possibilités d'investissement dans différents secteurs des marchés boursiers (Miller et Swann). Le *Rapport sur l'investissement dans le monde 2023 : Investir dans l'énergie durable pour tous*³⁸ indique que le total des actifs sous gestion des fonds durables a augmenté, ce qui témoigne des possibilités croissantes qu'offrent les changements climatiques. Les principaux secteurs de croissance sont ceux de l'énergie renouvelable, l'infrastructure écologique et les technologies d'efficacité énergétique.

De plus, les entreprises qui intègrent des critères ESG à leurs activités voient souvent leur valeur augmenter en raison de l'intérêt accru des investisseurs pour les placements durables et éthiques. Une conformité proactive à la réglementation climatique émergente peut améliorer la réputation du marché et réduire les obligations futures potentielles, ce qui contribue ainsi à la valeur des actions (Baz et coll., 2023; Di Febo, 2024).

5.2.5 Conclusion

En fonction de ces recherches, les conclusions du BAC sur la façon dont les changements climatiques pourraient influencer sur le rendement des actions sont les suivantes :

- Bien que l'innovation et les technologies vertes offrent des possibilités, les perspectives des changements climatiques sur le rendement des actions sont généralement négatives, menant à des rendements plus faibles.
- Ce sont les marchés émergents qui sont les plus à risque.
- Il est difficile d'établir si les marchés boursiers tiennent compte des possibilités et des risques actuels, et dans quelle mesure ils le font.
- L'incidence sur les rendements dépendra de la conception et de la mise en œuvre des politiques climatiques mondiales.
- Le BAC privilégie donc l'analyse des scénarios plutôt que le réajustement des hypothèses fondées sur la meilleure estimation.

³⁸ [CNUCED - Rapport sur l'investissement dans le monde 2023 - Investir dans l'énergie durable pour tous](#) (ce document est une vue d'ensemble; pour le document intégral en anglais seulement : [UNCTAD - World Investment Report 2023 Investing in sustainable energy for all](#))

5.3 Actifs réels

La catégorie des actifs réels englobe généralement les biens immobiliers, les infrastructures et les ressources naturelles. Elle a été touchée à l'échelle mondiale par les risques physiques des changements climatiques, car la fréquence et la gravité des événements liés au climat ont augmenté de façon notable. La présente section traite de l'incidence potentielle des risques et des possibilités liés au climat sur la valeur des actifs réels. Tout changement de la valeur des actifs réels a une incidence directe sur les taux de rendement.

5.3.1 Risques physiques aigus liés au climat

En premier lieu, les risques physiques aigus, soit les phénomènes météorologiques comme des inondations, des ouragans, des feux de forêt, etc., causent non seulement des dommages immédiats et une perte de valeur, mais ils peuvent également avoir des répercussions sur les dommages futurs. Des études indiquent que les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent réduire la valeur des biens immobiliers dans les régions à risque élevé. Ces répercussions peuvent se traduire par une moins-value à court terme (Fisher et Rutledge, 2021) ou par une réduction de prix permanente (Addoum et coll., 2021).

Plus particulièrement, l'urbanisation croissante et la hausse des températures intensifient les fortes précipitations, ce qui entraîne davantage d'inondations à l'intérieur des terres. Cela aggrave les dommages à l'immobilier et aux infrastructures, tout en perturbant les chaînes d'approvisionnement des produits de base (Carlin et coll., 2023). Entre 2011 et 2020, les pertes assurées dues aux inondations intérieures dans le monde ont plus que doublé par rapport à la décennie précédente et se sont élevées à quelque 80 milliards de dollars (Bevere et Finucane, 2022). Les feux de forêt sont un autre danger potentiel dont l'intensité et l'envergure ont augmenté en raison des changements climatiques. Des régions qui ont toujours été à l'abri de tels incendies sont maintenant à risque. La destruction de 99 594 structures aux États-Unis à la suite de 2 616 feux de forêt entre 2005 et 2022³⁹, et la superficie sans précédent qui a été brûlée au Canada pendant la saison des feux de forêt de 2023⁴⁰ font preuve d'exemple.

En plus de causer des dommages matériels aux actifs réels, l'augmentation de la fréquence et de la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes pourrait entraîner une hausse des primes d'assurance, une augmentation des coûts de reconstruction et d'entretien, et une diminution du tourisme dans les régions touchées. Tout cela peut avoir une incidence négative sur la valeur des actifs réels.

Toutefois, comme indiqué à la section 4.2 (Croissance économique), des possibilités pourraient exister à court terme après des événements météorologiques extrêmes. Par exemple, les investissements dans la reconstruction des infrastructures à la suite de catastrophes liées au climat et dans les infrastructures d'adaptation au climat peuvent favoriser l'activité économique et ajouter de la valeur aux actifs (Kelly et Molina, 2023; Hsu et Chao, 2022). Cela comprend le financement de projets de rétablissement et l'intégration de mesures de résilience pour réduire les risques futurs.

³⁹ [Wildfires destroy thousands of structures each year - Headwaters Economics](#) (en anglais seulement)

⁴⁰ [Système canadien d'information sur les feux de végétation | Rapport national sur la situation des feux de végétation \(nrcan.gc.ca\)](#)

5.3.2 Risques physiques chroniques liés au climat

Les risques physiques chroniques comme l'élévation du niveau de la mer, la subsidence et les changements de température peuvent également avoir des répercussions négatives similaires sur les actifs réels. Parmi ces répercussions figurent notamment les coûts directs de réparation et d'entretien, l'augmentation des primes d'assurance, la diminution de la valeur des biens immobiliers (Contat et coll., 2024), les perturbations de la chaîne d'approvisionnement des produits de base et des ressources naturelles, et les conséquences économiques plus générales (Bocchio et coll., 2023).

À l'échelle mondiale, de nombreuses villes sont vulnérables à une élévation du niveau de la mer et à des inondations chroniques, et ces situations ne feront qu'empirer. Une étude menée par Climate Central (Climate Central, 2019) indique que les terres qui abritent actuellement 300 millions de personnes se retrouveront au-dessous du niveau moyen annuel des inondations côtières d'ici 2050 en raison de l'élévation du niveau de la mer. De plus, les changements climatiques contribuent à la subsidence, soit l'affaissement des terrains sous les structures, ce qui compromet les fondations et déstabilise les bâtiments⁴¹.

5.3.3 Risques et possibilités de la transition

La transition climatique, qui comprend des politiques d'atténuation ou d'adaptation aux changements climatiques, ou les deux, et l'évolution des préférences du marché, peut avoir une incidence importante sur la valeur des actifs réels (Sawyer et coll., 2022). Les investisseurs pourraient également privilégier de plus en plus les actifs qui sont conformes aux critères ESG, ce qui pourrait influencer sur la disponibilité et le coût du capital de certains actifs réels.

Dans le cas de l'immobilier, des codes du bâtiment et des normes d'efficacité énergétique plus stricts peuvent accroître les coûts des promoteurs et des propriétaires, mais ils peuvent également accroître la valeur des propriétés qui s'y conforment. De plus, la transition vers une économie à faibles émissions de carbone pourrait encourager une préférence pour des bâtiments plus durables et plus écoénergétiques (Contat et coll., 2024). Ce changement pourrait stimuler la demande de bâtiments, de rénovations et de propriétés écologiques dans des emplacements qui sont résilients aux changements climatiques. Grâce à ces actifs durables, les investisseurs pourraient exiger des loyers plus élevés, jouir de valeurs immobilières accrues et avoir droit à des mesures incitatives du gouvernement.

De même, les infrastructures existantes pourraient avoir besoin d'investissements importants pour répondre aux nouvelles normes environnementales ou pour s'adapter aux conditions climatiques changeantes, ce qui aurait une incidence sur la valeur des actifs. Toutefois, la transition climatique présente également des possibilités⁴², comme les infrastructures d'énergie renouvelable, notamment les projets d'énergie solaire, éolienne et hydroélectrique. De plus, les développements d'infrastructure résiliente, comme la construction de défenses contre les inondations et l'amélioration des systèmes de transport, sont essentiels à l'atténuation des changements climatiques et à l'adaptation, et peuvent produire des rendements d'investissement intéressants. Enfin, l'essor des véhicules

⁴¹ [Maps show the real threat of climate-related subsidence to British homes and properties - British Geological Survey \(bgs.ac.uk\)](https://www.bgs.ac.uk) (en anglais seulement)

⁴² [CDP - World's biggest companies face \\$1 trillion in climate change risks](#) (en anglais seulement)

électriques crée également une demande pour l'infrastructure de soutien comme les réseaux de recharge⁴³ et l'amélioration du transport en commun⁴⁴.

En ce qui concerne les ressources naturelles et les produits de base, les combustibles fossiles pourraient connaître une baisse de la demande et une volatilité des prix à mesure que les économies se tourneront vers les énergies renouvelables, ce qui pourrait occasionner des actifs délaissés. Toutefois, le prix de produits de base comme les métaux et les minéraux essentiels aux technologies d'énergie renouvelable (p. ex. lithium, cobalt, cuivre, etc.) pourraient augmenter en raison de la demande accrue de batteries et d'autres technologies vertes (Hafner et Tagliapietra, 2020). Les changements climatiques peuvent également modifier la productivité agricole et les modes d'utilisation du sol, ce qui a une incidence sur la valeur des produits agricoles et des terres en fonction des conditions changeantes (Quaye et coll., 2018).

5.3.4 Conclusion

Les risques physiques et les risques de transition liés aux changements climatiques ont une incidence sur les actifs réels. Les études suggèrent que les risques physiques tendent vers des répercussions négatives du risque climatique sur le rendement des actifs réels. Par contre, l'incidence des risques liés à la transition est moins claire. Bien que la transition climatique semble prévoir des possibilités, des facteurs comme les dommages physiques causés par des phénomènes météorologiques extrêmes, l'augmentation des coûts de construction en raison de la tarification du carbone, la hausse des primes d'assurance et l'évolution des politiques de réglementation pourraient avoir des répercussions négatives. Les effets combinés des risques physiques et de transition sur les actifs réels sont incertains. Pour ces raisons, le BAC n'est pas prêt à intégrer les répercussions potentielles des changements climatiques sur le taux de rendement des actifs réels dans ses hypothèses fondées sur la meilleure estimation. De l'avis du BAC, l'analyse des scénarios est l'approche privilégiée.

5.4 Facteurs à considérer pour l'élaboration d'un cadre qui appuie l'analyse quantitative

La présente section se penche sur divers facteurs à considérer pour évaluer les répercussions quantitatives des risques liés au climat sur les hypothèses d'investissement dans le cadre de l'analyse des scénarios climatiques du BAC. La première sous-section présente un bref résumé de la méthodologie utilisée par le BAC dans l'analyse des scénarios climatiques figurant dans le RA31 du RPC. La deuxième sous-section traite de facteurs à prendre en considération pour améliorer la méthodologie du prochain cycle d'évaluation actuarielle.

⁴³ Exemple : [Le Canada investit dans un réseau pancanadien de bornes de recharge rapide pour véhicules électriques – Canada.ca](#)

⁴⁴ Exemple : [Le gouvernement du Canada investit dans l'électrification des réseaux de transport en commun dans tout le pays – Canada.ca](#)

5.4.1 Cadre du RA31 du RPC pour le réajustement des hypothèses d'investissement dans l'analyse des scénarios climatiques

Comme décrit à la section 4.3, le RA31 du RPC présente trois scénarios hypothétiques de changements climatiques. Ceux-ci comportent différents profils du taux de croissance du PIB nominal canadien par rapport à un scénario de référence⁴⁵ pour illustrer les répercussions potentielles des changements climatiques sur le TCM du RPC de base. À titre de rappel, l'analyse visait à illustrer le risque à la baisse. Les scénarios sont donc délibérément défavorables.

À l'égard des hypothèses économiques, les variations de la croissance du PIB du Canada pour chaque scénario ont été traduites, selon la règle du « un pour un », en variations des revenus d'emploi totaux par le biais de l'hypothèse des salaires réels. Une approche simplifiée a également été adoptée pour tenir compte des répercussions des changements climatiques sur les hypothèses d'investissement.

Pour mettre les choses en contexte, la première composante servant à établir les taux de rendement des actions fondés sur la meilleure estimation dans les rapports actuariels du BAC consiste à formuler une hypothèse pour les actions de sociétés ouvertes des marchés développés. Le rendement des autres catégories d'actif d'actions (marchés émergents, sociétés fermées, faibles capitalisations) est modélisé en appliquant une prime par rapport à celui des marchés développés. Le taux de rendement prévu des actions des marchés développés est composé du rendement attendu des revenus (rendement des dividendes et des rachats), de la croissance prévue des revenus et d'un réajustement des prix lorsque les marchés sont jugés sous-évalués ou surévalués à la date d'évaluation. La composante de la croissance des revenus est calculée par approximation en fonction du PIB projeté par habitant, ce qui crée un lien direct avec le PIB dans la méthodologie utilisée pour établir la meilleure estimation du rendement des actions. Le BAC a donc utilisé ce lien du PIB pour réajuster le rendement des actions dans chaque scénario climatique.

Selon l'approche simplifiée, les variations de la croissance nominale du PIB mondial sont représentées par les variations de la croissance du PIB du Canada. Ces variations du PIB sont ensuite intégrées dans le rendement présumé de placement par l'intermédiaire de la composante croissance des revenus. Le rendement de tous les actifs liés aux actions a donc été réajusté pour tenir compte des différentes trajectoires du PIB selon les différents scénarios climatiques. Toutefois, pour les catégories d'actif où le rendement est présumé ne pas avoir de lien direct avec la croissance du PIB, comme les titres à revenu fixe, aucune incidence de changement climatique n'a été intégrée au taux de rendement.

5.4.2 Facteurs à considérer pour le prochain cycle d'évaluation

Tel que mentionné à la section 4.3.2, le BAC prévoit mener des recherches pour mettre à jour ses scénarios climatiques illustratifs sur la base d'informations disponibles plus récentes. Le BAC examine également la possibilité de s'appuyer sur le cadre du RA31 du RPC pour améliorer la façon dont les hypothèses d'investissement sont réajustées dans l'analyse des

⁴⁵ Les scénarios de référence des rapports publics peuvent varier et ne sont pas définis. Par conséquent, ils ne peuvent pas être évalués par rapport aux hypothèses fondées sur la meilleure estimation du RA31 du RPC. À titre d'illustration seulement, les différences par rapport aux scénarios de référence ont été appliquées aux hypothèses fondées sur la meilleure estimation du RA31 du RPC.

scénarios climatiques. Les priorités pour le prochain cycle d'évaluation seront d'examiner les répercussions potentielles sur le rendement des catégories d'actif à revenu fixe, ainsi que d'intégrer les répercussions sur le PIB selon les différents marchés pour réajuster le rendement des actions.

5.4.2.1 Titres à revenu fixe

Pour mettre les choses en contexte, la première composante de base servant à établir les taux de rendement fondés sur la meilleure estimation pour les catégories d'actifs à revenu fixe dans les rapports actuariels du BAC consiste à formuler une hypothèse sur l'évolution du rendement des obligations à long terme (10 ans et plus) du gouvernement du Canada (GC). Les écarts de taux obligataires historiques entre les différentes durées, catégories et secteurs géographiques des obligations et les taux obligataires des obligations à long terme du GC sont ensuite analysés pour définir les hypothèses de taux obligataires des différents portefeuilles à revenu fixe. Le calcul des taux de rendement est ensuite effectué sur la base de ces projections de taux obligataires.

Une approche envisagée par le BAC pour intégrer les répercussions des titres à revenu fixe dans son analyse des scénarios climatiques consiste à obtenir les taux obligataires projetés des obligations du gouvernement du Canada selon chaque scénario climatique et à déterminer le taux de rendement prévu des portefeuilles d'obligations en fonction de ces trajectoires de taux obligataires.

Peu de renseignements sont malheureusement disponibles pour obtenir de telles trajectoires de taux de rendement par scénario climatique, surtout pour une période de projection qui porte sur plus de 75 ans. Dans bien des cas, la période de projection ne s'étend que jusqu'en 2050 et ne donne pas une vue d'ensemble des risques physiques, et n'illustre pas l'interconnexion entre le risque physique et le risque de transition.

5.4.2.2 Actions

Dans l'analyse des scénarios présentée dans le RA31 du RPC, les variations de la croissance nominale du PIB mondial sont représentées par les variations de la croissance du PIB du Canada. Étant donné que les actifs d'Investissements RPC et d'Investissements PSP sont investis à l'échelle mondiale, le BAC prévoit d'affiner son approche en étendant l'analyse de l'impact sur le PIB à d'autres pays que le Canada. L'impact sur les rendements des actions serait donc plus conforme à la distribution géographique des actifs des deux investisseurs.

5.4.2.3 Actifs réels

Compte tenu des incertitudes liées aux risques physiques et de transition pour les actifs réels, le BAC poursuit sa réflexion au traitement approprié dans son analyse de scénarios climatiques de l'impact des actifs réels à travers des variations sur la composante de la croissance du PIB.

6 Conclusion

Les recherches présentées dans cette étude mettent en évidence les complexités et les incertitudes découlant des répercussions des changements climatiques sur le processus d'établissement des hypothèses du BAC. Bien que les données soient incomplètes et parfois contradictoires, l'étude souligne l'importance de l'analyse de scénarios comme outil pour comprendre et illustrer l'évolution de ces risques liés au climat.

Les risques directs liés aux changements climatiques devraient réduire l'indice de fécondité et augmenter le taux de mortalité dans le monde, bien que le climat plus froid et la meilleure qualité de l'air au Canada puissent atténuer ces effets. Les risques climatiques indirects pourraient réduire l'indice de fécondité à court terme et augmenter la mortalité, mais les répercussions à long terme sont incertaines et dépendent du succès de la politique climatique. En ce qui a trait à la migration, trop d'incertitude persiste, ne serait-ce que pour évaluer l'incidence directionnelle potentielle des changements climatiques sur les tendances migratoires au Canada. Le BAC n'est pas prêt à intégrer explicitement les effets potentiels des changements climatiques aux hypothèses démographiques fondées sur la meilleure estimation dans son prochain cycle d'évaluation actuarielle.

Les changements climatiques pourraient avoir une incidence sur l'inflation et la croissance économique futures au Canada en raison des chocs tant du côté de l'offre que de la demande; les effets varient selon le type et le moment des événements liés au climat et la nature des politiques climatiques. Les risques physiques aigus peuvent causer des chocs inflationnistes immédiats, tandis que les risques chroniques peuvent avoir des effets à long terme. De même, l'incidence sur la croissance économique est incertaine en raison de l'interaction des risques physiques et de transition liés au climat. Le BAC n'est pas prêt à intégrer explicitement les effets potentiels des changements climatiques aux hypothèses économiques fondées sur la meilleure estimation dans son prochain cycle d'évaluation actuarielle.

L'incidence des changements climatiques sur les hypothèses de placement demeure également incertaine. Pour les titres à revenu fixe, les risques physiques pourraient entraîner une hausse des taux obligataires et des tensions financières, en particulier sur les marchés émergents, tandis que l'incidence des risques de transition dépend des politiques climatiques. Pour les actions, les changements climatiques sous-entendent généralement des rendements plus faibles, et les marchés émergents présentent des risques plus élevés dans ce domaine. Cependant, il n'est pas possible de savoir si les risques climatiques sont intégralement pris en compte dans le cours des actions. Les actifs réels pourraient subir des effets négatifs des risques physiques et des effets incertains découlant des risques de transition. Le BAC n'est pas prêt à intégrer formellement les effets potentiels des changements climatiques aux hypothèses de placement fondées sur la meilleure estimation dans son prochain cycle d'évaluation actuarielle.

Le BAC reste d'avis que l'analyse de scénarios est une approche judicieuse pour comprendre et mettre en lumière le risque. La présente étude recommande, pour l'analyse des scénarios climatiques dans les évaluations actuarielles du prochain cycle, d'exclure les hypothèses démographiques en raison de l'insuffisance des données propres au Canada. Telle que présentée dans le RA31 du RPC, l'analyse de scénarios pour les hypothèses économiques reste pertinente, mais exige des mises à jour périodiques pour tenir compte des développements climatiques en cours. Enfin, l'étude recommande d'apporter des

améliorations supplémentaires à l'analyse des scénarios pour les hypothèses de placement en y intégrant de nouvelles variables, y compris les répercussions climatiques potentielles sur le taux des titres à revenu fixe, ainsi que les diverses répercussions sur le PIB selon les différents marchés.

Annexe - A Références

- Aaron W. Tustin, M., Glenn E. Lamson, M., Brenda L. Jacklitsch, P., Richard J. Thomas, M., Sheila B. Arbury, M., Dawn L. Cannon, M., . . . Michael J. Hodgson, M. (2018, July 6). Evaluation of Occupational Exposure Limits for Heat Stress in Outdoor Workers — United States, 2011–2016. *Centres for Disease Control and Prevention - Morbidity and Mortality Weekly Report*, pp. 733-737.
- Abbott, G., et Chapman, M. (2018). *Addressing the New Normal: 21st Century Disaster Management in British Columbia*. Victoria: BC Flood and Wildfire Review.
- Abed Al Ahad, M., Sullivan, F., Demisar, U., Melham, M., et Kulu, H. (2020). The effect of air-pollution and weather exposure on mortality and hospital admission and implications for further research: A systematic scoping review. *PLOS ONE*, 1-24.
- Abel, G. J., Brotrager, M., Cuaresma, J. C., et Muttarak, R. (2019). Climate, conflict and forced migration. *Global Environmental Change*, pp. 239-249.
- Adams, H., et Kay, S. (2019). Migration as a human affair: Integrating individual stress thresholds into quantitative models of climate migration. *Environmental Science and Policy*, pp. 129-138.
- Addoum, J. M., Eichholtz, P., Steiner, E., et Yonder, E. (2021, March). Climate Change and Commercial Real Estate: Evidence from Hurricane Sandy. SSRN.
- Agyapong, V. I., Hrabok, M., Juhas, M., Omeje, J., Denga, E., Nwaka, B., . . . Li, X.-M. (2018, July). Prevalence Rates and Predictors of Generalized Anxiety Disorder Symptoms in Residents of Fort McMurray Six Months After a Wildfire. *Frontiers in Psychiatry*, pp. 1-12.
- Amiraslany, A. (2010). *The Impact of Climate Change on Canadian Agriculture: A Ricardian Approach*. Saskatoon: University of Saskatoon.
- Apel, M. (2022). *How does the climate transition affect inflation?* Sveriges Riksbank.
- Ayouqi, H., et Vercaemmen, J. (2014). *EVALUATING THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON CANADIAN PRAIRIE AGRICULTURE*. University of Alberta.
- Bachner, G., et Bednar-Friedl, B. (2019). The Effects of Climate Change Impacts on Public Budgets and Implications of Fiscal Counterbalancing Instruments. *Environmental Modeling et Assessment*, pp. 121-142.
- Bank of Canada; Office of the Superintendent of Financial Institutions. (2022). *Using Scenario Analysis to Assess Climate Transition Risk*. Ottawa: Bank of Canada; Office of the Superintendent of Financial Institutions.
- Barnett, J., et McMichael, C. (2018). The effects of climate change on the geography and timing of human mobility. Australia: School of Geography, The University of Melbourne.
- Batten, S. (2018, January). Climate change and the macro-economy: a critical review. *Staff Working Paper No. 706*. England: Bank of England.
- Batten, S., Sowerbutts, R., et Tanaka, M. (2016, May). Let's talk about the weather: the impact of climate change on central banks. *Staff Working Paper No. 603*. England: Bank of England.
- Batten, S., Sowerbutts, R., et Tanaka, M. (2020). Climate change: Macroeconomic impact and implications for monetary policy. In *Ecological, Societal, and Technological Risks and the Financial Sector*. Bank of England.
- Baz, S., Cathcart, L., Michaelides, A., et Zhang, Y. (2023, March 31). Firm-Level Climate Regulatory Exposure. SSRN.

- Beine, M., Docquier, F., et Schiff, M. (2009). *International Migration, Transfers of Norms and Home Country Fertility*. The World Bank Development Research Group Trade Team.
- Beirne, J., Renzhi, N., et Volz, U. (2020). *FEELING THE HEAT: CLIMATE RISKS AND THE COST OF SOVEREIGN BORROWING*. Tokyo: Asian Development Bank Institute.
- Berlemann, M., et Steinhardt, M. F. (2017). Climate Change, Natural Disasters, and Migration—a Survey of the Empirical Evidence. *CESifo Economic Studies*, pp. 253-385.
- Bevere, L., et Finucane, J. (2022, September 01). Economic Insights Flood: new risk-based pricing capabilities, new opportunities to close protection gaps. *Swiss Re Institute - Sigma research*.
- Bhaskaran, K., Gasparrini, A., Hajat, S., Smeeth, L., et Armstrong, B. (2013, June 12). Time series regression studies in environmental epidemiology. *International Journal of Epidemiology*, pp. 1187-1195.
- Bisultanova, et Aza. (2023). Green" bonds: historical aspects of implementation. *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies*, 8.
- Black, R., Bennett, S. R., Thomas, S. M., et Beddington, J. R. (2011, October 27). Migration as Adaptation. *Nature*, pp. 447-449.
- Bluedorn, J., Hansen, N.-J., Noureldin, D., Shibata, I., Tavares, M. M., Newman, S., et Nyakeri, C. (2022). A GREENER LABOR MARKET: EMPLOYMENT, POLICIES, AND ECONOMIC TRANSFORMATION. In *International Monetary Fund*. 67-86.
- Bocchio, C., Giamalaki, K., Giezek, M., Grevenbrock, N., Zayat, A., et Zemicik, P. (2023, March). Quantifying the Impact of Climate on Corporate Credit Risk. *Moody's Analytics*. Moody's.
- Bohra-Mishraa, P., Oppenheimer, M., et Hsiang, S. M. (2014, July 8). Nonlinear permanent migration response to climatic variations but minimal response to disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 9780-9785.
- Boneva, L., Ferrucci, G., et Mongelli, F. P. (2022, February). Monetary policy and the green transition. *SUERF Policy Brief No 268*. Vienna, Austria: SUERF The European Money and Finance Forum.
- Bonsal, B. R., Peters, D. L., Seglenieks, F., Rivera, A., et Berg, A. (2019). Changes in freshwater availability across Canada. In E. Bush, et D. S. Lemmen, *Canada's Changing Climate Report* (pp. 261-342). Ottawa: Government of Canada.
- Botzen, W. J., Deschenes, O., et Sanders, M. (2019, Summer). The Economic Impacts of Natural Disasters: A Review of Models and Empirical Studies. *Review of Environmental Economics and Policy*, pp. 167-188.
- Boyd, R., et Markandya, A. (2021). *Costs and Benefits of Climate Change Impacts and Adaptation; Chapter 6 in Canada in a Changing Climate: National Issues Report, (Eds.) F.J. Warren and N. Lulham*. Ottawa: Government of Canada.
- Broeders, D., Schouten, B., Tiems, I., et Verhoeven, N. (2023, January 01). Pricing of climate transition risks across different financial markets. *Journal of Risk Management in Financial Institutions*, pp. 102-115.
- Brown, O. (2008). *Migration and Climate Change*. International Organization for Migration.
- Brunetti, C., Dennis, B., Gates, D., Hancock, D., Ignell, D., Kiser, E. K., . . . Tabor, N. K. (2021). Climate Change and Financial Stability. *FEDS Notes*.
- Bunce, A., Ford, J., Harper, S., Edge, V., et IHACC Research Team. (2016, September 01). Vulnerability and adaptive capacity of Inuit women to climate change: a case study from Iqaluit, Nunavut. *Natural Hazards*, pp. 1419-1441.

- Bunker, A., Wildenhain, J., Vandenbergh, A., Henschke, N., Rocklov, J., Hajat, S., et Sauerborn, R. (2016). Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. *EBio Medicine*, 258-268.
- Burniaux, J.-M., Château, J., Duval, R., et Jamet, S. (2008, December 17). The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for the Future. *OECD Economics Department Working Papers No. 658*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Burzynski, M., Deuster, C., Docquier, F., et Melo, J. d. (2019). Climate Change, Inequality, and Human Migration. Louvain-la-Neuve, Belgium: Institut de Recherches Economiques et Sociales de l'Université catholique de Louvain.
- Butz, W. P., Lutz, W., Sendzimir, J., et Andruchowitz, S. (2014). *Education and Differential Vulnerability to Natural Disasters*. International Institute for Applied Systems Analysis.
- Carbone, S., Giuzio, M., Kapadia, S., Kramar, J. S., Nyholm, K., et Vozian, K. (2021). *The low-carbon transition, climate commitments and firm credit risk*. Frankfurt am Main: European Central Bank.
- Carlin, D., Arshad, M., et Baker, K. (2023). *Sectoral Risk Briefings: Insights for Financial Institutions - Climate Risks in the Real Estate Sector*. UN Environment Programme.
- Casey, G., Shayegh, S., Moreno-Cruz, J., Bunzl, M., Galor, O., et Caldeira, K. (2019). *The Impact of Climate Change on Fertility*.
- Casey, G., Shayegh, S., Moreno-Cruz, J., Bunzl, M., Galor, O., et Caldeira, K. (2019, February). The Impact of Climate Change on Fertility.
- Cattaneo, C., Beine, M., Fröhlich, C. J., Kniveton, D., Martinez-Zarzoso, I., Mastrotrillo, M., . . . Piguet, E. (2019). Human Migration in the Era of Climate Change. European Institute on Economics and the Environment.
- Cavallo, E., Becerra, O., et Acevedo, L. (2021). *The Impact of Natural Disasters on Economic Growth*. Inter-American Development Bank.
- Cavallo, E., Galiani, S., Noy, I., et Pantano, J. (2010). *Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth*. Inter-American Development Bank.
- Cella, W., Baia-da-Silva, D. C., Cardoso de Melo, G., Tadei, W. P., de Souza Sampaio, V., Pimenta, P., . . . Monteiro, W. M. (2019, March 08). Do climate changes alter the distribution and transmission of malaria? Evidence assessment and recommendations for future studies. *Journal of the Brazilian Society of Tropical Medicine*, pp. 1-9.
- Cevik, S., et Jalles, J. T. (2020). *This Changes Everything: Climate Shocks and Sovereign Bonds*. International Monetary Fund.
- Charlson, F., Ali, S., Benmarhnia, T., Pearl, M., Massazza, A., Augustinavicius, J., et Scott, J. G. (2021, April 23). Climate Change and Mental Health: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Chen, Y., Romps, D. M., Seeley, J. T., Veraverbeke, S., Riley, W. J., Mekonnen, Z. A., et Randerson, J. T. (2021, May). Future increases in Arctic lightning and fire risk for permafrost carbon. *Nature Climate Change*, pp. 404-410.
- Clark, D. G., R. N., Coffman, D., et Beugin, D. (2021, June). The Health Costs of Climate Change: How Canada can adapt, prepare, and save lives. *Canadian Institute for Climate Choices*. Canadian Institute for Climate Choices.
- Clayton, S. (2020, August). Climate anxiety: Psychological responses to climate change. *Journal of Anxiety Disorders*.
- Climate Central. (2019). *Climate Central*. Retrieved from Study triples global estimates of

- population threatened by sea level rise: <https://www.climatecentral.org/press-release-flooded-future>
- Club Vita. (2018). *Hot and Bothered - How climate change might affect UK longevity*. London: Club Vita.
- Cœuré, B. (2018). Monetary policy and climate change. *BIS Central Bankers' Speeches*.
- Collender, S., Gan, B., Nikitopoulos, C. S., Richards, K.-A., et Ryan, L. (2022, November 29). Climate Transition Risk in Sovereign Bond Markets.
- Contat, J., Hopkins, C., Mejia, L., et Suandi, M. (2024). When climate meets real estate: A survey of the literature. *Real Estate Economics*, pp. 618-659.
- Cuaresma, J. C., Hlouskova, J., et Oberteiner, M. (2008, April). Natural Disasters as Creative Destruction? Evidence from Developing Countries. *Economic Inquiry*, pp. 214-226. Retrieved from <https://www.researchgate.net/>.
- Cunsolo, A., et Ellis, N. R. (2018, April). Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss. *Nature Climate Change*, pp. 275-281.
- Darnall, N. (2009, May). Regulatory Stringency, Green Production Offsets, and Organizations' Financial Performance. *Public Administration Review*, pp. 418-434.
- Davis, R. E., Knappenberger, P. C., Michaels, P. J., et Novicoff, W. M. (2004, April 19). Seasonality of climate - human mortality relationships in US cities and impacts of climate change. *Climate Research*, pp. 61-76.
- Deghi, A., Feng, A., Gan, Z. K., Khadarina, O., Suntheim, F., Yizhi, X., . . . Qureshi, M. (2020). *Global Financial Stability Report: Markets in the time of Covid -19. Chapter 5 - Climate Change - Physical Risk and Equity Prices*. The International Monetary Fund.
- Dennekamp, M., Straney, L. D., Erbas, B., Abramson, M. J., Keywood, M., Smith, K., . . . Tonkin, A. M. (2015, October). Forest Fire Smoke Exposures and Out-of-Hospital Cardiac Arrests in Melbourne, Australia: A Case-Crossover Study. *Environmental Health Perspectives*, pp. 959-964.
- Development, O. f.-o. (2015). *The Economic Consequences of Climate Change*. Retrieved from OECDiLibrary: <https://doi.org/10.1787/9789264235410-en>
- Di Febo, E., Angelini, E., et Le, T. (2024, August 13). European Non-Performing Exposures (NPEs) and Climate-Related Risks: Country Dimensions. *Risks*.
- Diffenbaugh, N. S., et Burke, M. (2019, March 22). Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 9808-9813.
- Dumont, C., Haase, E., Dolber, T., Lewis, J., et Coverdale, J. (2020). Climate change and risk of completed suicide. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 559-565.
- Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., . . . Berry, P. (2022, April 17). Extreme Weather and Climate Change: Population Health and. *Annu Rev Public Health*, pp. 293-315.
- Egyed, M., Blagden, P., Plummer, D., Makar, P., Matz, C., Flannigan, M., . . . Xi, G. (2022). Health of Canadians in a Changing Climate: Advancing our Knowledge for Action. In P. Berry, et R. Schnitter, *Air Quality* (pp. 287-365). Ottawa: Government of Canada.
- Eicke, L., Weko, S., Apergi, M., et Marian, A. (2021). Pulling up the carbon ladder? Decarbonization, dependence, and third-country risks from the European carbon border adjustment mechanism. *Energy Research et Social Science*.
- Eren, E., Merten, F., et Verhoeven, N. (2022). *Pricing of climate risks in financial markets: a summary of the literature*. Bank for International Settlements.
- Erickson, L. E., Griswold, W., Maghirang, R. G., et Urbaszewski, B. P. (2017). Air Quality, Health

- and Community Action. *Journal of Environmental Protection*, pp. 1057-1074.
- Faccia, D., Parker, M., et Livio, S. (2021). *Feeling the heat: extreme temperatures and price stability*. Frankfurt: European Central Bank.
- Faccini, R., Matin, R., et Skiadopoulos, G. (2021, July 12). Dissecting Climate Risks: Are they Reflected in Stock Prices?
- Fankhauser, S., et Tol, R. S. (2005). On climate change and economic growth. *Resource and Energy Economics*, pp. 1-17.
- Felio, G. (2017). *Climate Change Impacts on Water and Wastewater Infrastructure at Akwasasne*. Ontario First Nations Technical Services Corporation.
- Fiore, A. M., Naik, V., et Leibensperger, E. M. (2015). Air Quality and Climate Connections. *Journal of the Air et Waste Management Association*, 645-685.
- Fisher, J. D., et Rutledge, S. R. (2021, March 22). The impact of Hurricanes on the value of commercial real estate. *Business Economics*.
- Flammer, C. (2018). Corporate Green Bonds. *GEGI Working Paper*.
- Ford, J. D. (2012, July). Indigenous Health and Climate Change. *American Journal of Public Health*, pp. 1260-1266.
- Friel, S., Dangour, A. D., Garnett, T., Lock, K., Chalabi, Z., Roberts, I., . . . Haines, A. (2009, December 12). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas. *The Lancet*, pp. 2016-2025.
- Gaskin, A. J., Fong, K. C., Awad, Y. A., Di, Q., Minguéz-Alarcon, L., Chavarro, J. E., . . . Laden, F. (2019). Time-varying Exposure to Air Pollution and Outcomes of In Vitro Fertilization among Couples from a Fertility Clinic. *Environmental Health Perspectives*, 077002-1- 8.
- Gasparri, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A., Huber, V., Tong, S., . . . Armstrong, B. (2017, November 13). Projections of temperature-related excess mortality under. *Lancet Planet Health*, pp. e360-367.
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., . . . Armstrong, B. (2015, May 21). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*, pp. 369-375.
- Giese, G., Nagy, Z., et Raus, B. (2021). Foundation of Climate Investing: How Equity Markets Have Priced Climate-Transition Risks. *The Journal of Portfolio Management - Novel Risks*.
- Goodman, S., Guy, K., Maddox, M., Hansen, V. V., Sending, O. J., et Iselin Németh Winther. (2021). *Climate Change and Security in the Arctic*. The Center for Climate and Security, Council on Strategic Risks, and Norwegian Institute of International Affairs.
- Gosselin, P., Campagna, C., Demers-Bouffard, D., Qutob, S., et Flannigan, M. (2022). Health of Canadians in a Changing Climate: Advancing our Knowledge for Action. In P. Berry, et R. Schnitter, *Natural Hazards* (pp. 114-225). Ottawa: Government of Canada.
- Groosman, B., Muller, N. Z., et O'Neill, E. (2009). *The Ancillary Benefits from Climate Policy in the United States*. Middlebury: MIDDLEBURY COLLEGE.
- Ha, S., Sundaram, R., Buck Louis, G. M., Nobles, C., Seeni, I., Sherman, S., et Mendola, P. (2018, January). Ambient air pollution and the risk of pregnancy loss: a prospective cohort study. *Fertil Steril.*, pp. 148-153.
- Hafner, M. (., et Tagliapietra, S. (. (2020). The Geopolitics of the Global Energy Transition. In *Lecture Notes in Energy*. Springer Open.
- Haines, A. (2017, April). Health co-benefits of climate action. *The Lancet*, pp. e4-e5.
- Hajat, S., et Kosatky, T. (2010). Heat related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Epidemiol Community Health*, pp. 753-760.

- Hajdu, T., et Hajdu, G. (2021). Temperature, climate change, and fertility. *GLO Discussion Paper, No. 896*.
- Hallegatte, S., et Dumas, P. (2009). Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change. *Ecological Economics*, pp. 777-786.
- Halofsky, J. E., Peterson, D. L., et Harvey, B. J. (2020). Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology*, 1-26.
- Harper, S. L., Edge, V. L., Ford, J., Cunsolo Willox, A., Wood, M., IHACC Research Team, . . . McEwen, S. A. (2015). Climate-sensitive health priorities in Nunatsiavut, Canada. *BMC Public Health*, pp. 1-18.
- Hayes, K., Blashki, G., Wiseman, J., Burke, S., et Reifels, L. (2018). Climate change and mental health: risks, impacts and priority actions. *International Journal of Mental Health Systems*.
- Health Care Without Harm. (2018). *Safe Haven in the Storm*. Reston: Health Care Without Harm.
- Hebborn, C., Gosselin, P., Chen, K., Chen, H., Cakmak, S., MacDonald, M., . . . Lavigne, E. (2023, June 12). *Future temperature-related excess mortality under climate change*. Retrieved from Canadian Journal of Public Health: <https://doi.org/10.17269/>
- Hengge, M., Panizza, U., et Varghese, R. (2023). *Carbon Policy and Stock Returns: Signals from Financial Markets*. International Monetary Fund.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., . . . Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. Shukla, . . . T. Waterfield, *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (pp. 175-311).
- Hoffman, R., Dimitrova, A., Mutarak, R., Crespo Cuaresma, J., et Peisker, J. (2020). A Meta-Analysis of Country-Level Studies on Environmental Change and Migration.
- Howard, C., Rose, C., et Rivers, N. (2018). *Lancet Countdown 2018 Report: Briefing for Canadian Policy Makers*. November.
- Howard, C., Rose, C., Dodd, W., Kohle, K., Scott, C., Scott, P., . . . Orbinski, J. (2021). SOS! Summer of Smoke: a retrospective cohort study examining the cardiorespiratory impacts of a severe and prolonged wildfire season in Canada's high subarctic. *British Medical Journal Open*, pp. 1-10.
- Hsiang, S. M., et Jina, A. S. (2014). *The Casual Effect fo Environmental Catastrophe on Long-Run Economic Growth: Evidence from 6,700 Cyclones*. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Hsiang, S. M., Meng, K. C., et Cane, M. A. (2011, August 25). Civil conflicts are associated with global climate. *Nature*, pp. 438-441.
- Hsiang, S., Kopp, R., Jina, A., Rising, J., Delgado, M., Mohan, S., . . . Houser, T. (2017, June 30). Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*, pp. 1362-1369.
- Hsu, K.-W., et Chao, J.-C. (2022). The Impact of Urban Green-infrastructure Development on the Price of Surrounding Real Estate: A Case Study of Taichung City's Central District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

- Hunter, L. M., Luna, J. K., et Norton, R. M. (2015). The Environmental Dimensions of Migration. *Annual Review Sociology*, pp. 377-397.
- Hupp, J., Brubaker, M., Wilkinson, K., et Williamson, J. (2015). How are your berries? Perspectives of Alaska's environmental managers on trends in wild berry abundance. *International Journal of Circumpolar Health*.
- Indaco, A., Ortega, F., et Taspinar, S. (2019). *Hurricanes, Flood Risk and the Economic Adaptation of Businesses*. Bonn: IZA Institute of Labor Economics.
- Islam, N., et Winkel, J. (2017). *Climate Change and Social Inequality*. New York: United Nations - Department of Economic et Social Affairs.
- Javadi, S., et Masum, A. A. (2021). The impact of climate change on the cost of bank loans. *Journal of Corporate Finance*.
- Jiang, F., Wei Li, C., et Qian, Y. (2019). *Can firms run away from climate-change risk? Evidence from the pricing of bank loans*.
- Kabore, P., et Rivers, N. (2020). *Manufacturing Output and Extreme Temperature: Evidence from Canada*. Ottawa: University of Ottawa.
- Kaczan, D. J., et Orgill-Meyer, J. (2019, November 7). The impact of climate change on migration: a synthesis of recent empirical insights. *Climatic Change*.
- Karpf, A., et Mandely, A. (2017, February 24). *Does it pay to be green? A Comparative Study of the Yield Term Structure of Green and Brown Bonds in the US Municipal Bonds Market*. Retrieved from SSRN: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2923484>
- Keivabu, R. C., Cozzani, M., et Wilde, J. (2023, May). Temperature and Fertility: Evidence from Spanish Register Data. *IZA Institute of Labor Economics*. Bonn, Germany: IZA - Institute of Labour Economics.
- Kelly, D. L., et Molina, R. (2023, Novmeber). Adaptation Infrastructure and Its Effects on Property Values in the Face of Climate Risk. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, pp. 1405-1438.
- Khan, A. E., Scheelbeek, P. F., Shilpi, A. B., Chan, Q., Mojumder, S. K., Rahman, A., . . . Vineis, P. (2014, September 30). Salinity in Drinking Water and the Risk of (Pre)Eclampsia. *PLoS ONE*, p. e108715.
- Kinney, P. L., Schwartz, J., Pascal, M., Petkova, E., Le Tertre, A., Medina, S., et Vautard, R. (2015, June). Winter Season Mortality: Will Climate Warming Bring Benefits? *Department of Health and Human Services USA*. Department of Health and Human Services USA.
- Kling, G., Volz, U., Murinde, V., et Ayas, S. (2021). The impact of climate vulnerabilty on firms' cost of capital and access to finance. *World Development*.
- Klomp, J., et Sseruyange, J. (2021). Earthquakes and Economic Outcomes: Does Central Bank Independence Matter? *Open Economies Review*, pp. 335-359.
- Kocornik-Mina, A., McDermott, T., Michaels, G., et Rauch, F. (2015). *Flooded City*. Centre for Climate Change Economics and Policy; Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.
- Kotz, M., Kuik, F., Lis, E., et Nickel, C. (2024). Global warming and heat extremes to enhance inflationary pressures. *Communications Earth and Environment*.
- Koubi, V., Schaffer, L., Spilker, G., et Böhmelt, T. (2022). Climate events and the role of adaptive capacity for (im-) mobility. *Population and Environment* , pp. 367-392.
- Kubik, Z., et Maurel, M. (2016, January). Weather Shocks, Agricultural Production and Migration: Evidence from Tanzania. *The Journal of Development Studies*, pp. 665-680.
- Kumar, A., Xin, W., et Zhang, C. (2019, February). Climate Sensitivity and Predictable Returns.

- Lafakis, C., Ratz, L., Fazio, E., et Cosma, M. (2019, June). The Economic Implications of Climate Change. *Moody's Analytics*.
- Larcker, D. F., et Watts, E. M. (2019). Where's the Greenium? *Journal of Accounting and Economics*.
- Lavigne, E. (2020). *Temperature-related mortality under climate change scenarios in health regions of Canada [Video]*. Retrieved from Air Health Science Division of Health Canada. Presented at the NOAAECCC webinar:
https://www.youtube.com/watch?v=JD-3rVL_5IY
- Lesk, C., Rowhani, P., et Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production.
- Li, C., Zhang, X., et He, J. (2023, August 31). Impact of Climate Change on Inflation in 26 Selected Countries. *Sustainability*.
- Lustgarten, A. (2020). THE GREAT CLIMATE MIGRATION. The New York Times, Pro Publica, Pulitzer Center.
- Luthi, S., Fairless, C., Fischer, E. M., Scovronick, N., Armstrong, B., De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., . . . Vicedo-Cabrera, A. M. (2023, August 24). *Rapid increase in the risk of heat related mortality*. Retrieved from Nature Communications:
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-40599-x>
- Lynn, K., Daigle, J., Hoffman, J., Lake, F., Michelle, N., Ranco, D., . . . Williams, P. (2013). The impacts of climate change on tribal traditional foods. *Climate Change*, pp. 545-556.
- Maguet, S. (2019). *Public Health Planning for Wildfire Smoke*. Health Canada's Water, Air and Climate Change Bureau.
- Mahalingaiah, S., Hart, J. E., Laden, F., Farland, L. V., Hewlett, M. M., Chavarro, J., . . . Misser, S. A. (2016, January 2). Adult air pollution exposure and risk of infertility in the Nurses' Health Study II. *Human Reproduction*, pp. 638-647.
- Mardhiori, L., et Ingmar, S. (2009, April). WHEN NATURE REBELS: INTERNATIONAL MIGRATION, CLIMATE CHANGE AND INEQUALITY. PALAISEAU CEDEX, France: ECOLE POLYTECHNIQUE CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.
- Marushka, L., Kenny, T.-A., Batal, M., Cheung, W. W., Fediuk, K., Golden, C. D., . . . Chan, H. M. (2019, February 27). Potential impacts of climate-related decline of seafood harvest on nutritional status of coastal First Nations in British Columbia, Canada. *PLOS ONE*.
- Masselot, P., Mistry, M., Vanoli, J., Schneider, R., lungman, T., Garcia-Leon, D., . . . Gasparrini, A. (2023, March 16). Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe. *Lancet Planet Health*, pp. e271-e281.
- Massey, D. S. (1999, June). International Migration at the Dawn of the Twenty-First Century: The Role of the State. *Population and Development Review*, pp. 303-322.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P., . . . (eds.), T. W. (2019). *IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Mastouri, A., Mendiratta, R., et Giese, G. (2022, October). Corporate Bonds and Climate Change Risk. *The Journal of Portfolio Management*.
- Mattais, A., et Nykvist, B. (2020). Understanding the role of green bonds in advancing sustainability. *Journal of Sustainable Finance et Investment*.
- McGlade, C., et Ekins, P. (2015, January 5). *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C*. Retrieved from The Open University:
<https://core.ac.uk/>
- McGrath, J. (2020, March). Climate, pollution and California's crops. *Nature Food*, p. 153.

- McKibbin, W. J., Morris, A. C., Wilcoxon, P. J., et Panton, A. J. (2017, November 30). Climate Change and Monetary Policy: Dealing with Disruption. *Climate and Energy Economics Discussion Paper*. Washington, DC, USA: The Brookings Institution.
- McLeman, R. (2017). *How Will International Migration Policy and Sustainable Development Affect Future Climate-Related Migration?* Migration Policy Institute.
- McMichael, A. J., Powles, J. W., Butler, C. D., et Uauy, R. (2007, October 6). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *The Lancet*, pp. 1253-1263.
- Migali, S., et Scipioni, M. (2019). Who's About to Leave? A Global Survey of Aspirations and Intentions to Migrate. *International Migration*, pp. 181-200.
- Miller, A. S., et Swann, S. A. (n.d.). CLIMATE CHANGE et THE FINANCIAL SECTOR A TIME OF RISKS et OPPORTUNITIES. SSRN.
- Mills, J. N., Gage, K. L., et Khan, A. S. (2010, November). Potential Influence of Climate Change on Vector-Borne and Zoonotic Diseases: A Review and Proposed Research Plan. *Environmental Health Perspectives*, pp. 1507-1514.
- Missirian, A., et Schlenker, W. (2017, December 22). Asylum applications respond to temperature fluctuations. *Science*, pp. 1610-1614.
- Molico, M. (2019, November 19). Researching the Economic Impacts of Climate Change - Implications for monetary policy and financial stability. Ottawa, Ontario, Canada: Bank of Canada.
- Mueller, I., et Sfappini, E. (2022). *Climate Change-Related Regulatory Risks and Bank Lending*. Frankfurt am Main: European Central Bank.
- Mukherjee, K., et Ouattara, B. (2021). Climate and monetary policy: do temperature shocks lead to inflationary pressures? *Climatic Change*.
- Nenonen, S., Koski, A., Lassila, A., et Lehikoinen, S. (2019). Towards low carbon economy – green bond and asset development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Network for Greening the Financial System. (2020). *Climate Change and Monetary Policy Initial takeaways*. Banque de France; NGFS Secretariat.
- Oberlin, A. M., et Wylie, B. J. (2023). Vector-borne disease, climate change and perinatal health. *Seminars in Perinatology*, 1-7.
- Obradovich, N., Migliorini, R., Paulus, M. P., et Rahwan, I. (2018, October 23). Empirical evidence of mental health risks posed by climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 10953-10958.
- Ocello, C., Petrucci, A., Testa, M. R., et Vignoli, D. (2014, December). Environmental aspects of internal migration in Tanzania. *Population and Environment*.
- Ochuodho, T. O., et Lantz, V. A. (2015, March 13). Economic impacts of climate change on agricultural crops in Canada by 2051: A global multi-regional CGE model analysis. *Environmental Economics*, pp. 113-125.
- O'Kelly, B., et Lambert, J. S. (2020, June 15). Vector-borne diseases in pregnancy. *Sage Journals*, pp. 1-27. Retrieved from journals.sagepub.com/home/tai.
- Orru, H., Ebi, K. L., et Forsberg, B. (2017). The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr Envir Health Rpt*, 504-513.
- Pankratz, N. M. (2018, November 14). Climate Change, Firm Performance et Investor Surprises. Maastricht, The Netherlands: Maastricht University, Department of Finance and European Center for Sustainable Finance (ECCE).
- Patz, J. A., Frumkin, H., Holloway, T., Vimont, D. J., et Haines, A. (2014, October 15). Climate Change: Challenges and Opportunities for Global Health. *Journal of the American*

- Medical Association*, pp. 1565-1580.
- Peersman, G. (2018). International Food Commodity Prices and Missing (Dis)Inflation in the Euro Area. National Bank of Belgium.
- Petrasek MacDonald, J., Harper, S. L., Cunsolo Willox, A., Edge, V. L., et Rigolet Inuit Community Government. (2012). A necessary voice: Climate change and lived experiences of youth in Rigolet, Nunatsiavut, Canada. *Global Environmental Change*.
- Pindyck, R. S. (2013). *CLIMATE CHANGE POLICY: WHAT DO THE MODELS TELL US?* Cambridge: NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH.
- Pinzón, A., Robins, N., McLuckie, M., et Thoumi, G. (2020). *The sovereign transition to sustainability: Understanding the dependence of sovereign debt on nature*. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, and Planet Tracker.
- Portner, H.-O., C. R. D., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegria, A., . . . Rama, B. (. (2022). *IPCC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Quaye, F., Nadolnyak, D., et Hartarska, V. (2018). Climate Change Impacts on Farmland Values in the Southeast United States. *Sustainability*.
- Raimi, D. (2021). *Effects of Climate Change on Heat- and Cold-Related Mortality: A Literature Review to Inform Updated Estimates of the Social Cost of Carbon*. Mountain View: Creative Commons.
- Raleigh, C., Linke, A., et O'Loughlin, J. (2014, February). Extreme temperatures and violence. *Nature and Climate Change*, pp. 76-77.
- Ranasinghe, R., Ruane, A. C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F. A., . . . Zaaboul, R. (2021). 2021: Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In V. P. Masson-Delmotte, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1767-1926). Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Rao, H., Chen, D., Shen, F., et Shen, Y. (2022). Can Green Bonds Stimulate Green Innovation in Enterprises? Evidence from China. *Sustainability*, 14.
- Reboredo, J. C., et Ugolini, A. (2020). Climate transition risk, profitability and stock prices.
- Reinsborough, M. J. (2003, February). A Ricardian model of climate change in Canada. *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economique*, pp. 21-40.
- Reisinger Walker, E., McGee, R. E., et Druss, B. G. (2015, April). Mortality in Mental Disorders and Global Disease Burden Implications: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of the American Medical Association Psychiatry*, pp. 334-341.
- Ren, P., Cheng, Z., et Dai, Q. (2024). Can green bond issuance promote enterprise green technological innovation? *The North American Journal of Economics and Finance*.
- Reuveny, R., et Moore, W. H. (2009, September). Does Environmental Degradation Influence Migration? Emigration to Developed Countries in the Late 1980s and 1990s. *Social Science Quarterly*, pp. 461-479.
- Revesz, R. L., Howard, P. H., Arrow, K., Gouder, L. H., Kopp, R. E., Livermore, M. A., . . . Sterner, T. (2014, April 10). Improve economic models of climate change. *Nature*, pp. 173-175.
- Rigaud, K., Kanta, A. d., Jones, B., Bergmann, J., Clement, V., Ober, K., . . . Midgley, A. (2018). *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*. Washington: The World Bank.

- Riosmena, F., Kuhn, R., et Jochem, W. C. (2017, February). Explaining the Immigrant Health Advantage: Self-selection and Protection in Health-Related Factors Among Five Major National Origin Immigrant Groups in the United States. *Demography*, pp. 175-200.
- Rodrigues, P. M., Salish, M., et Salish, N. (2024, January 8). Saving for sunny days: The impact of climate (change) on consumer prices in the euro area.
- Ryti, N. R., Guo, Y., et Jaakkola, J. J. (2016, January). Global Association of Cold Spells and Adverse Health Effects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, pp. 12-22.
- Sawyer, D., Ness, R., Clark, D., et Beugin, D. (2020). *Tip of the Iceberg: Navigating the Known and Unknown Costs of Climate Change for Canada*. Canadian Institute for Climate Choices.
- Sawyer, D., Ness, R., Lee, C., et Miller, S. (2022). *Damage Control: Reducing the costs of climate impacts in Canada*. Canadian Climate Institute.
- Schuler, P., Oliveira, L. E., Mele, G., et Antonio, M. (2019). *Fiscal Policies for Development and Climate Action - Managing the Fiscal Risks Associated with Natural Disasters*. World Bank.
- Schutte, S., Vestby, J., et Jørgen Carling, H. B. (2021). Climatic conditions are weak predictors of asylum migration. *Nature Communications*.
- Scotta, D., Hall, C. M., et Gössling, S. (2019, June 05). Global tourism vulnerability to climate change. *Annals of Tourism Research*, pp. 49-61.
- Segal, T. R., et Giudice, L. C. (2022, August). Systematic review of climate change effects on reproductive health. *Fertility and Sterility*, pp. 215-223.
- Seltenrich, N. (2015, November). Between Extremes Health Effects of Heat and Cold. *Environmental Health Perspectives*, pp. A275-A280.
- Seltzer, L., et Starks, L. T. (2022). *Climate Regulatory Risks and Corporate Bonds*. Federal Reserve Bank of New York.
- Shannon, K. L., Kim, B. F., McKenzie, S., et Lawrence, R. S. (2015). Food System Policy, Public Health, and Human Rights in the United States. *Annual Review of Public Health*, pp. 151-173.
- Skidmore, M., et Toya, H. (2002, October). DO NATURAL DISASTERS PROMOTE LONG-RUN GROWTH? *Economic Inquiry*, pp. 664-687.
- Slama, R., Bottagisi, S., Solansky, I., Lepeule, J., Giorgis-Allemand, L., et Sram, R. (2013, November). Short-Term Impact of Atmospheric Pollution on Fecundability. *Epidemiology*, pp. 871-879.
- Smith, D. M., Sales, J., Williams, A., et Munro, S. (2023). Pregnancy intentions of young women in Canada in the era of climate change: a qualitative auto-photography study. *BMC Public Health*, 1-13.
- Smulders, S., Toman, M., et Withagen, C. (2014). Growth theory and 'green growth'. *Oxford Review of Economic Policy*, pp. 423-446.
- Springmann, M., Godfray, H. C., Rayner, M., et Scarborough, P. (2016, April 12). Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 4146-4151.
- Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Garnett, T., Godfray, H. C., Gollin, D., . . . Scarborough, P. (2016, May 7). Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study. *The Lancet*, pp. 1937-1946.
- Springmann, M., Wiebe, K., Mason D'Croz, D., Sulser, T. B., Rayner, M., et Scarborough, P. (2018, October). Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their

- association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. *The Lancet*, pp. e451-e461.
- Stern, N. (2006). *Stern Review: The Economics of Climate Change*. Cambridge University Press.
- 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*, pp. 838-859.
- Strobl, E. (2008). *The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from US Coastal Counties*. Bonn: Institute for the Study of Labor.
- Sun, C., Xu, J., et You, Y. (2022, March). Physical Climate Change Exposure and Stock Returns.
- Teasdale, N., et Panegyres, P. K. (2023). Climate change in Western Australia and its impact on human health. *The Journal of Climate Change and Health*.
- Turner, M. C., Jerrett, M., Pope, C. A., Krewski, D., Gapstur, S. M., Diver, W. R., . . . Burnett, R. T. (2016, May 15). Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, pp. 1134-1142.
- USGCRP. (2017). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. Washington, DC, USA: U.S. Global Change Research Program.
- Veronis, L., et McLeman, R. (2014). Environmental influences on African migration to Canada: focus group findings from Ottawa-Gatineau. *Poulation Environment*, pp. 234-251.
- Villarreal, M. L., Haire, S. L., Iniguez, J. M., Cortes Montano, C., et Poitras, T. B. (2019). Distant neighbors: recent wildfire patterns of the Madrean Sky Islands of southwestern United States and northwestern Mexico. *Fire Ecology*, 1-20.
- Wahl, E. R., Zorita, E., Trouet, V., et Taylor, A. H. (2019). Jet stream dynamics, hydroclimate, and fire in California from 1600 CE to present. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 5393-5398.
- Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M., . . . Colstello, A. (2018, February 10). The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *The Lancet*, pp. 581-630.
- Way, R., Ives, M. C., Mealy, P., et Farmer, J. D. (2022, September 21). Empirically grounded technology forecasts and the energy transition. *Joule*, pp. 2057-2082.
- Weber, M. H. (2003). A Regional Analysis of Climate Change Impacts on Canadian Agriculture. *Canadian Public Policy - Analyse de Politiques*, pp. 163-180.
- Wesselink, A. K., Wang, T. R., Ketznel, M., Mikkelsen, E. M., Brandt, J., Khan, J., . . . Hatch, E. E. (2022, January). Air pollution and fecundability: Results from a Danish preconception cohort study. *Paediatr Perinat Epidemiol*, pp. 57-67.
- Willers, S. M., Jonker, M. F., Klok, L., Keuken, M. P., Odink, J., van den Elshout, S., . . . Burdorf, A. (2016). High resolution exposure modelling of heat and air pollution and the impact on mortality. *Environment International*, 89-90, 102-109.
- World Bank. (2023). *World Development Report 2023: Migrants, Refugees and Societies*. Washington.
- World Health Organization. (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project*. Copenhagen: WHO Regional Office Europe.
- Yang, D. (2008). Coping with Disaster: The Impact of Hurricanes on International Financial Flows, 1970-2002. *The B.E. Journal of Economic Analysis et Policy*, p. Article 13.
- Yang, Y., Huang, C., et Zhang, Y. (2023). *Decomposing Climate Risks in Stock Markets*. International Monetary Fund.
- Yu, S., Cai, C., Zhang, S., et You, P. (2022, August 11). Does climate change affect enterprises'

- ability to sell their products? *Frontiers in Ecology and Evolution*.
- Zeppel, M. J., Wilks, J. V., et Lewis, J. D. (2014, June 13). Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in. *Biogeosciences*, pp. 3083-3093.
- Zeuli, K., Nijhuis, A., Macfarlane, R., et Ridsdale, T. (2018, October 24). The Impact of Climate Change on the Food System in Toronto. *Environmental Research in Public Health*, pp. 1-15.
- Zhao, M., Huang, X., Kjellstrom, T., Lee, J. K., Otto, M., Zhang, X., . . . Cai, W. (2022). Labour productivity and economic impacts of carbon mitigation: a modelling study and benefit–cost analysis. *Lancet Planet Health*, pp. e941-948.

Annexe - B Remerciements

Nous remercions la Division des risques climatiques du BSIF de leur collaboration et de leur aide précieuse.

Nous tenons à remercier les organismes suivants :

- Statistique Canada pour avoir fourni les données provinciales sur la fécondité.
- ClimateData.ca pour fournir des renseignements climatiques.
- Environnement et Changement climatique Canada pour avoir fourni les données sur la qualité de l'air.
- Le réseau pour le verdissement du système financier (NGFS) pour fournir des données sur les scénarios climatiques et les impacts liés au climat.

Les personnes dont les noms suivent ont participé à la préparation de la présente étude :

Yann Bernard, FICA, FSA
Assia Billig, FICA, FSA, PhD
Jean Blanchette, FICA, FSA
Hao Chen, FICA, FSA
Christine Dunnigan, FICA, FSA
Julie Fortier
Laurence Frappier, FICA, FSA
Evan McKibbin
Kelly Moore
Jeff Muller, FICA, FSA, CFA
Marie-Chloée Pontbriand-Paré, FICA, FSA
Alexandre Regnier, FICA, FSA
Jackie Ruan, FICA, FCAS
Bojana Terzic
Thierry Truong, FICA, FSA