

CHAPITRE 2

Information de base : concepts, aperçus et approches

Auteurs principaux :

Fiona J. Warren¹ et Paul Egginton¹

Collaborateurs :

Elaine Barrow (*consultante, Regina, Saskatchewan*),
Claude Desjarlais (*Ouranos*), Henry Hengeveld (*Environnement Canada*),
Don Lemmen (*Ressources naturelles Canada*) et
Guillaume Simonet (*Ouranos*)

Remerciements :

Les auteurs veulent remercier tout spécialement les personnes suivantes qui ont aidé à améliorer le présent chapitre, grâce à leurs suggestions et à leur contribution : Alain Bourque, Jim Bruce, Elizabeth Bush, Jacinthe Lacroix, Sharon Smith, Xuebin Zhang et Francis Zwiers.

Notation bibliographique recommandée :

Warren, F.J. et P.A. Egginton. « Information de base : concepts, aperçus et approches », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 27-56.

¹ Division des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique, Ressources naturelles Canada Ottawa (Ontario).

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION	29
2 PRINCIPAUX CONCEPTS.....	29
2.1 Adaptation.....	29
2.2 Vulnérabilité.....	30
2.3 Capacité d'adaptation.....	32
2.4 Résilience.....	33
2.5 Technologies aux fins d'adaptation	33
2.6 Scénarios.....	34
3 SCIENCE DU CLIMAT	36
3.1 Moteurs du changement climatique	36
3.2 Variabilité du climat.....	38
3.3 Changements climatiques constatés et projetés (à l'échelle mondiale)	39
4 APERÇU DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU CANADA	40
4.1 L'économie canadienne.....	41
4.2 Population et profil démographique.....	43
4.3 Tendances et projections du climat.....	44
4.4 Conclusions.....	51
5 APPROCHES UTILISÉES DANS L'ÉVALUATION	52
5.1 Synthèse.....	52
5.2 Probabilité et confiance	52
5.3 Utilisation des scénarios.....	53
RÉFÉRENCES	53
Annexe 1 — Présentation graphique des scénarios climatiques	56

1

INTRODUCTION

Le présent chapitre, qui sert de référence aux suivants, explique les principaux concepts liés aux objectifs primordiaux de l'évaluation. Il offre également un court résumé des sciences associées à la compréhension du changement climatique, passé et futur, et un aperçu des profondes répercussions que le changement climatique entraîne au Canada. Les lecteurs sont invités à consulter les

références citées dans le présent chapitre, où ils trouveront des explications plus détaillées. Enfin, le chapitre décrit les approches utilisées aux fins de la présente évaluation, en signalant les différences avec d'autres récentes évaluations entreprises aux échelles nationale et internationale.

2

PRINCIPAUX CONCEPTS

Les Canadiens sont de plus en plus conscients que le changement climatique constitue un problème fondamental pour leur santé et leur bien-être, de même que pour l'environnement et l'économie. Presque tous les échanges en matière de politiques publiques ont porté principalement sur les mesures d'atténuation, indispensables à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'atténuation s'avère une démarche essentielle faisant partie des efforts déployés en vue de réduire la vitesse du changement climatique et, à terme, son ampleur. La population est cependant moins au courant du fait que, quel que soit le succès des mesures d'atténuation à l'échelle mondiale, le changement climatique et les impacts qui y sont associés sont inévitables (p. ex., Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Même si les concentrations de gaz à effet de serre étaient stabilisées, le réchauffement et l'élévation du niveau de la mer vont se poursuivre pendant des centaines d'années à cause de la nature du système climatique et des rétroactions qui s'y produisent (Meehl *et al.*, 2006; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). La présente évaluation met l'accent sur la nécessité de s'adapter, compte tenu du fait que le climat actuel du Canada est différent de celui du passé récent et qu'il continuera de changer au cours des années à venir.

Les mesures d'adaptation prises par divers gouvernements canadiens, des industries, des collectivités et des particuliers sont, et continueront d'être, fondées sur la compréhension implicite ou explicite de la vulnérabilité. En ce qui concerne le changement climatique, cela implique de prendre en considération la façon dont le climat devrait changer, les impacts probables de ces changements et le potentiel d'adaptation. Pour comprendre le concept de vulnérabilité, les auteurs de la présente évaluation ont puisé dans de nombreux domaines, dont les sciences physiques, biologiques et sociales, ainsi que l'analyse économique. Ils ont ensuite intégré ces informations à d'autres sources de connaissances, dont le savoir local. Plusieurs concepts clés, qui utilisent une terminologie spécifique au domaine et qui ne peuvent être définis par une simple définition de dictionnaire, sont à la base de la présente analyse. Plutôt que de redéfinir les principaux concepts tout au long du

rapport, ils sont expliqués en détail dans le présent chapitre. Il est à noter que le glossaire du rapport contient une liste plus longue de termes-clés relatifs aux impacts et à l'adaptation. Dans le reste du chapitre 2, les termes du glossaire sont indiqués en caractères gras/italique la première fois qu'ils sont mentionnés.

2.1 ADAPTATION

On entend par *adaptation* toute action qui réduit les *impacts* négatifs du *changement climatique* ou qui permet de tirer profit de nouvelles occasions qui se présentent. L'adaptation est nécessaire pour s'attaquer aux problèmes du changement climatique, en plus d'être un complément essentiel à l'*atténuation* (réduction des émissions de gaz à effet de serre; voir l'encadré 1). Aux termes de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* (CCNUCC) et du *Protocole de Kyoto*, les parties, c'est-à-dire les pays, doivent faciliter l'adaptation. Les objectifs de l'adaptation sont, entre autres, 1) d'atténuer les impacts actuels (Füssel et Klein, 2006), 2) de réduire la *sensibilité* et l'*exposition* aux dangers du climat et 3) d'accroître la résistance aux facteurs de stress d'ordre climatique et non climatique, c'est-à-dire améliorer la *capacité d'adaptation*. Une adaptation réussie ne veut pas dire qu'il n'y aura pas d'impacts négatifs; cela veut plutôt dire qu'ils seront moins importants que s'il n'y avait pas eu d'adaptation.

Il y a de nombreux types d'adaptation (voir le tableau 2). L'adaptation comprend des mesures prises avant l'observation d'impacts (mesures anticipatoires), ainsi que d'autres prises après leur apparition (mesures réactionnelles). Ces deux types d'adaptation peuvent être planifiés, c'est-à-dire qu'ils sont le fruit de décisions politiques, alors que les mesures réactionnelles peuvent aussi se manifester de manière spontanée, c'est-à-dire sans planification. L'adaptation planifiée est un processus itératif comprenant quatre étapes de base : le développement informationnel et la conscientisation, la planification et la conception, la mise en œuvre, ainsi que la surveillance et l'évaluation (voir la figure 1; Klein *et al.*, 1999). Dans la plupart des

ENCADRÉ 1

Adaptation et atténuation

Il y a deux catégories de mesures qui peuvent être prises face au changement climatique : les mesures d'atténuation et les mesures d'adaptation. Dans la documentation sur le changement climatique, ces deux termes sont définis de façon claire et distincte, et présentent des différences fondamentales (*voir le tableau 1*). L'atténuation concerne seulement une « intervention **anthropique** cherchant à réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Comme l'atténuation vise à réduire ou

TABLEAU 1 : Caractéristiques de l'atténuation et de l'adaptation (établies d'après Füssel et Klein, 2006).

Caractéristique	Adaptation au changement climatique	Atténuation du changement climatique
Systèmes qui en bénéficient	Certains systèmes	Tous les systèmes
Échelle de l'effet	Locale à régionale	Mondiale
Durée	Années à siècles	Siècles
Efficacité	Généralement moins certaine	Certaine
Avantages connexes	La plupart du temps	Quelquefois
Suivi	Plus difficile	Relativement facile

à prévenir des changements dans le **système climatique**, elle cible les causes du changement climatique (Schipper, 2006).

L'adaptation, au contraire, vise les conséquences du changement climatique (Schipper, 2006) et tente d'en réduire ou d'en prévenir les impacts sur les systèmes humains et naturels.

Malgré la distinction entre les deux termes, l'adaptation et l'atténuation sont codépendantes. Les mesures d'atténuation, en ralentissant la vitesse et l'ampleur des changements du système climatique, ont une incidence sur la demande de stratégies d'adaptation ainsi que sur leur potentiel de réussite. Plus les changements seront d'un ordre de grandeur important, plus il faudra de l'adaptation; et plus les changements seront rapides, plus l'adaptation sera difficile. En outre, certaines actions peuvent être considérées comme des mesures à la fois d'atténuation et d'adaptation. Planter des arbres en milieu urbain, par exemple, permet d'augmenter les puits de gaz à effet de serre (atténuation) et de refroidir les environs (adaptation au réchauffement). Cette codépendance prouve qu'il est nécessaire d'élaborer des politiques sur le changement climatique qui visent les deux types de mesures en même temps (Mendelsohn, 2006).

Alors que la distinction terminologique entre l'adaptation et l'atténuation est claire dans le milieu s'intéressant au changement climatique, tous les domaines n'emploient pas ces termes de la même façon. Celui des risques naturels, par exemple, a longtemps employé « atténuation » pour parler des actions qui réduisent les conséquences des risques naturels. Dans celui de l'aménagement du territoire, les efforts en vue de réduire les développements dans les plaines inondables seraient considérés comme une mesure d'atténuation pour les chercheurs du domaine des risques naturels, mais comme une mesure d'adaptation dans le contexte du changement climatique.

cas, les mesures anticipatoires qui ont été planifiées seront moins coûteuses à long terme et plus efficaces que les mesures réactionnelles. Par contre, il y a des risques à appliquer des mesures d'adaptation relatives à un avenir incertain, dont les coûts de renonciation (l'utilisation de ressources qui, autrement, auraient pu être employées pour des priorités concurrentielles) et la possibilité d'avoir une **mauvaise adaptation** (*voir* Mendelsohn, 2006).

De nombreux groupes, dont des particuliers, des organisations, des industries et tous les ordres de gouvernement, participent à faciliter l'adaptation, de même qu'à choisir et à appliquer des mesures spécifiques d'adaptation. Ces mesures sont très variées et peuvent inclure des changements de comportement, des modifications en matière d'opérations, des interventions technologiques, de même que la révision des pratiques de planification et d'investissement, ainsi que des législations. Un des rôles des gouvernements est de fournir des renseignements et des **outils**, en plus d'établir des cadres d'action susceptibles de promouvoir les mesures d'adaptation (Stern, 2006).

Beaucoup d'études sur les impacts du changement climatique offrent une liste de stratégies d'adaptation potentielles, qui en illustre la diversité. De nombreux exemples sont présentés dans les chapitres consacrés aux régions de la présente étude. Néanmoins, les exemples ne sont qu'un point de départ pour l'analyse. Avant de prendre des décisions concernant la meilleure mesure d'adaptation

à prendre pour contrer un impact spécifique, ou une série d'impacts, il faut comprendre le processus d'adaptation et les concepts qui s'y rattachent – **vulnérabilité**, capacité d'adaptation et **résilience** (*voir* les sections 2.2 à 2.4). L'adaptation ne sera pas seulement une réponse au changement climatique, elle devra aussi tenir compte de différents facteurs, lesquels peuvent donner naissance tant à des synergies qu'à des conflits. Une attention particulière doit être apportée à la faisabilité, à la probabilité et aux mécanismes d'adoption des stratégies d'adaptation. Il y a certaines questions essentielles à poser, notamment (Smit et Wandel, 2006) : « Qu'est-ce qui peut être fait au niveau pratique ? » « Qui le fera ? » « Comment cela sera-t-il mis en œuvre ? » Les recherches portant sur ces questions sont actuellement rares dans le domaine du changement climatique (Smit et Wandel, 2006).

2.2 VULNÉRABILITÉ

Dans les ouvrages consacrés au changement climatique, la vulnérabilité se définit comme étant le degré selon lequel un **système** risque de subir ou de tolérer les effets néfastes du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat** (GIEC) précise que la « vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme

TABLEAU 2 : Différents types d'adaptation (extrait modifié tiré de Smit et al., 1999).

ADAPTATION		
Selon	Type d'adaptation	
L'intention	Spontanée	Planifiée
L'action (par rapport au stimulus climatique)	Réactive	Simultanée
L'étendue temporelle	À court terme	À long terme
L'étendue spatiale	Localisée	Étendue

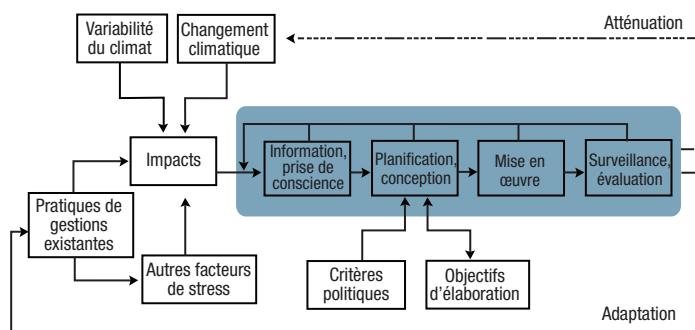


FIGURE 1 : Cadre conceptuel indiquant (dans la partie ombrée) les étapes pour planifier l'adaptation au changement et à la variabilité climatiques (tiré de Klein et al., 2006).

des **variations climatiques** auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et capacité d'adaptation» (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). La vulnérabilité présente donc à la fois une dimension externe, l'exposition au climat et des caractéristiques internes au système à l'étude, soit la sensibilité et la capacité d'adaptation (Füssel et Klein, 2006). Il faut aussi comprendre les processus biophysiques et socioéconomiques en jeu (Adger, 2006).

Ainsi, l'évaluation de la vulnérabilité d'une exploitation agricole au changement climatique nécessite que l'on comprenne la façon dont le climat devrait changer (p. ex., températures plus élevées, **sécheresses** plus fréquentes), la sensibilité du système à ces changements (p. ex., la relation entre le rendement de culture et la température ou la sécheresse) et la possibilité pour le système de s'adapter aux changements (p. ex., en plantant des cultures différentes, en irriguant). Même si l'exploitation agricole peut être très sensible au changement climatique, puisque le rendement des cultures est fortement régi par la température et la sécheresse, le système ne serait pas considéré comme très vulnérable si des mesures d'adaptation efficaces, telles que planter des cultures plus résistantes à la sécheresse, étaient faciles à mettre en œuvre.

L'exemple ci-dessus illustre trois autres aspects importants de la vulnérabilité. Premièrement, par définition, la vulnérabilité met l'accent sur les impacts négatifs, c'est-à-dire « les effets défavorables du changement climatique » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Il est cependant accepté que le changement climatique aura des avantages aussi bien que des impacts négatifs. Dans cet exemple, les températures plus élevées peuvent aussi se traduire par de meilleurs rendements de culture. De ce fait, un des autres objectifs de l'adaptation est de faire des ajustements pour mieux tirer profit des avantages que peut présenter le changement climatique. Deuxièmement, les aspects du changement climatique les plus importants pour une prise de décisions éclairée concernant l'adaptation sont rarement ceux qui retiennent le plus l'attention au cours des discussions sur les paramètres du climat : les changements des températures et des précipitations moyennes. Dans l'exemple mentionné, il faudrait également prendre davantage en considération les paramètres suivants dans le cas de rendements de culture : le moment de survenue des précipitations, l'occurrence d'épisodes de pluies extrêmes, les degrés-jours de croissance et la sévérité de sécheresses. Troisièmement, et d'ailleurs l'aspect le plus important, lorsque la vulnérabilité d'un système est considérée comme relativement faible à cause de sa forte capacité d'adaptation, ce dernier peut tout de même subir d'importantes conséquences si des mesures d'adaptation ne sont pas appliquées. Dans l'exemple, si l'exploitant continuait à planter les mêmes cultures sans faire d'ajustements, il pourrait subir de graves conséquences ou ne pas être en mesure de tirer profit de nouvelles occasions.

Reconnaître la nécessité de prendre en considération la capacité d'adaptation des systèmes est ce qui distingue la vulnérabilité de la sensibilité. La sensibilité ne tient pas compte de l'effet modérateur de l'adaptation, alors que la vulnérabilité peut être vue sous l'angle des conséquences qui subsistent après le recours aux mesures d'adaptation. Les premières études sur les impacts du changement climatique mettaient souvent l'accent sur la sensibilité, alors qu'on accepte maintenant que les mesures d'adaptation auront une grande influence sur l'ampleur des impacts du changement climatique. En effet, des chercheurs ont fait remarquer que « les études sur les conséquences du changement climatique sont sans intérêt si la vaste gamme d'options dont on dispose en matière d'adaptation n'est pas prise en considération » (Adger et Kelly, 1999 [traduction]). La plupart des études les plus récentes sont axées sur l'évaluation de la vulnérabilité, et non de la sensibilité.

Évaluer la vulnérabilité demande que l'on considère les principaux stress, tant climatiques que non climatiques, qui s'exercent sur un système ou une région, de même que les influences des conditions socio-économiques sur la capacité d'adaptation (*voir* la section 2.3; Füssel et Klein, 2006). On reconnaît généralement que la participation des **intervenants** est une première étape essentielle dans le processus d'évaluation des études de la vulnérabilité (Lim et al., 2005). Alors que les impacts sont souvent quantifiés (p. ex., pourcentage d'augmentation de la productivité, pertes de revenus), ce n'est pas le cas de la vulnérabilité (Füssel et Klein, 2006), qui cherchent plutôt à mieux saisir les processus en cause et les facteurs susceptibles d'intervenir. Les influences sociales et biophysiques changent facilement dans le temps et dans l'espace (Adger, 2006). Il en résulte que la vulnérabilité est généralement caractérisée, plutôt que mesurée même si des améliorations dans la quantification du concept sont en cours (*voir* Adger, 2006).

2.3 CAPACITÉ D'ADAPTATION

Dans le domaine du changement climatique, on entend par « capacité d'adaptation » « le potentiel, les moyens ou la capacité d'un système à s'adapter aux stimuli du changement climatique ou à ses effets ou impacts » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le terme « système » a un sens large qui comprend tous les niveaux et les types d'unités, notamment les régions, les collectivités, les secteurs économiques, les *institutions* et les entreprises privées.

L'expression « capacité d'adaptation » est relativement nouvelle dans le milieu de la recherche sur le changement climatique, apparaissant pour la première fois dans la documentation scientifique en 1999 environ et n'étant citée fréquemment qu'à partir de 2003. L'adoption et l'utilisation de l'expression ont probablement été popularisées par la publication du *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (2001) qui, dans le chapitre 18 intitulé *Adaptation in the Context of Sustainable Development and Equity* (Adaptation dans le contexte du développement durable et de l'équité; Smit *et al.*, 2001), explique le concept en détail. L'adaptation et la capacité d'adaptation sont étroitement liées (*voir l'encadré 2*), et l'amélioration de la capacité d'adaptation est une mesure d'adaptation de type « *sans regrets* », qui offre des avantages quels que soient les changements du climat. Les stratégies visant à améliorer la capacité d'adaptation sont donc un bon moyen de passer à l'action, malgré les incertitudes entourant les prévisions climatiques (Smit et Pilifosova, 2003). En augmentant la capacité d'adaptation, on réduit des facteurs de stress, dont la vulnérabilité au climat actuel et futur.

Lorsqu'on parle de la capacité d'adaptation, il faut se poser deux questions : « La capacité d'adaptation de quoi ? » « La capacité d'adaptation à quoi ? » (Smit *et al.*, 1999). On peut prendre en considération, par exemple, la capacité d'adaptation d'une ferme

(système) à un climat plus aride (changement climatique), ou encore celle d'une collectivité (système) à des vagues de chaleur plus fréquentes (changement climatique). La capacité d'adaptation est influencée par un certain nombre de déterminants d'ordre spécifique selon l'endroit, qui dépendent de l'état social, économique et institutionnel du système ou de la région à l'étude (*voir la figure 2*). Les déterminants agissent pour réduire ou améliorer la possibilité de s'adapter (Kelly et Adger, 2000), et ils varient à la fois selon l'endroit et le temps (Smit *et al.*, 2001).

Les expériences vécues agissent clairement sur la capacité d'adaptation. Vivant dans un climat très variable, les Canadiens ont une capacité d'adaptation plus grande au changement climatique. Un événement unique peut avoir des incidences tant positives que négatives sur la capacité d'adaptation (Smit *et al.*, 2001).

L'expérience acquise lors d'une récente *onde de tempête*, par exemple, devrait permettre de mieux se préparer à d'autres événements semblables, et donc d'accroître la capacité d'adaptation. Par contre, si la même tempête a épuisé les ressources disponibles pour aider les sinistrés, la capacité d'adaptation pourrait être diminuée jusqu'à ce que les coffres soient regarnis. Les expériences vécues peuvent également jouer un rôle dans la perception des *risques*, aux niveaux individuel et institutionnel, phénomène qui agit lui aussi sur la probabilité de recours à une adaptation proactive (Grothmann et Patt, 2005).

La capacité d'adaptation est difficile à mesurer. Des indicateurs indirects, tels que le revenu par habitant, le niveau de scolarité et la densité de la population, ont été utilisés dans le cas de certains déterminants (Yohe et Tol, 2002), mais d'autres sont plus complexes à évaluer. En outre, même si c'est au niveau local que la capacité d'adaptation prend tout son sens, à cause de la nature des données disponibles, elle n'est souvent évaluée qu'aux niveaux national et régional (Yohe et Tol, 2002).

Aux fins de la présente évaluation, les auteurs se sont concentrés sur la caractérisation des facteurs qui agissent sur la capacité d'adaptation dans leur région, s'attaquant également dans certains cas à la caractérisation au niveau du système (sous-régions ou secteurs). Même si l'étude de la capacité d'adaptation à l'échelle

ENCADRÉ 2

Faire la différence entre l'adaptation et la capacité d'adaptation

Les termes de « capacité d'adaptation » et « d'adaptation », même s'ils sont liés, sont bien distincts dans la documentation sur le changement climatique. La capacité d'adaptation est une caractéristique d'un système qui indique son aptitude à s'adapter efficacement au changement. Un système doté d'une grande capacité d'adaptation serait capable de faire face aux changements du climat, et peut-être même d'en tirer profit, alors qu'un système de faible capacité d'adaptation serait plus susceptible de souffrir des mêmes changements. L'adaptation, quant à elle, se rapporte à un processus ou à une action spécifique.

Accroître la capacité d'adaptation fait partie des stratégies d'adaptation (Brooks *et al.*, 2005), et un système avec de nombreuses options d'adaptation a généralement une plus grande capacité de s'adapter qu'un système n'en ayant que peu ou pas (Yohe et Tol, 2002). Certains pensent que la capacité d'adaptation peut être vue comme un potentiel d'adaptation et, lorsque la capacité d'adaptation est utilisée à cette fin, la vulnérabilité s'en trouve réduite (Brooks, 2003).

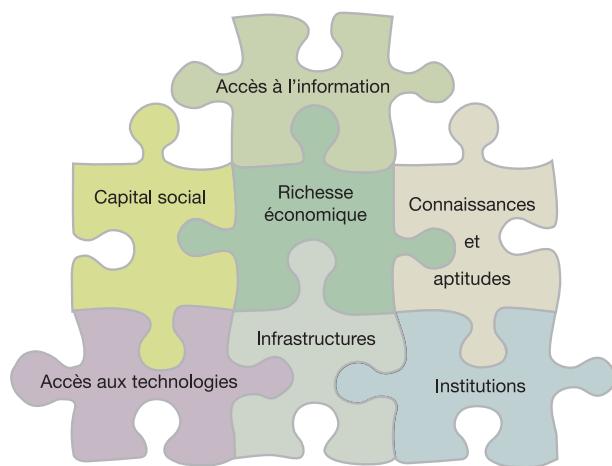


FIGURE 2 : Déterminants de la capacité d'adaptation (extrait modifié tiré de Smit *et al.*, 2003).

locale est rare dans la documentation sur le changement climatique, il est possible de tirer de précieux enseignements des analyses provenant d'autres domaines, notamment ceux de la planification en cas d'urgence, du développement et de la diversification de l'économie, de même que de la **sécurité alimentaire**. Bien qu'elles dépassent généralement la portée de la présente évaluation, de telles analyses présentent une bonne voie à suivre pour les recherches futures sur les impacts et l'adaptation (*voir* le chapitre 10).

2.4 RÉSILIENCE

On entend par résilience «l'ampleur du changement dont un système peut être l'objet sans changer d'état» (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le terme n'est pas employé aussi souvent dans la documentation sur le changement climatique que «capacité d'adaptation» ou «vulnérabilité». Les études qui l'utilisent parlent généralement davantage des systèmes naturels que des systèmes humains, probablement à cause des racines du terme provenant du domaine de l'écologie. Certains chercheurs ont modifié la terminologie pour l'utiliser spécifiquement dans le contexte d'études portant sur le changement climatique et parlent maintenant de «résilience écosociale» et de «résilience sociale-écologique» (p. ex., Adger, 2006).

Ainsi que précédemment mentionné, presque toute la terminologie concernant les impacts et l'adaptation continue d'évoluer. À un certain moment, le terme «résilience» était employé de façon interchangeable avec «capacité d'adaptation». Les deux termes désignent une caractéristique d'un système qui décrit sa capacité à faire face aux facteurs de stress externes, et chacun peut être limité ou amélioré par des facteurs internes ou externes. Par contre, étant donné que la définition de «résilience»

suppose une caractéristique inhérente des systèmes à rester dans leur état actuel et à présenter les mêmes fonction et structure (Walker *et al.*, 2004), cela peut aller à l'encontre des buts de l'adaptation, où les changements sont considérés comme des conséquences inévitables d'un climat en évolution.

La définition de «résilience» introduit deux concepts apparentés qui sont importants pour l'adaptation : «*plages de tolérance*» et «*seuils*». On entend par «plage de tolérance» la variation du climat qu'un système peut subir sans qu'il y ait d'impacts significatifs. Les mesures d'adaptation ajusteront la plage et auront un effet similaire sur le niveau de résilience (*voir* la figure 3). Un «seuil» est le stade auquel surviennent des impacts significatifs, c'est-à-dire lorsque les limites de la plage de tolérance sont outrepassées, ou auquel le système connaît un changement d'état, c'est-à-dire lorsque la résilience est dépassée. Définir les seuils des systèmes naturels est un des objectifs principaux de beaucoup d'études sur les impacts du changement climatique (International Scientific Steering Committee, 2005), alors que comprendre les seuils propres aux systèmes humains peut s'avérer l'élément clé de la prise de décisions éclairée concernant l'adaptation. Walker et Meyers (2004), par contre, se sont demandés si les seuils peuvent être établis avant d'être dépassés et n'ont trouvé aucun exemple, dans la littérature publiée, de seuils qui avaient été prévus.

2.5 TECHNOLOGIES AUX FINS D'ADAPTATION

La technologie est souvent mentionnée comme une solution essentielle aux problèmes que pose le changement climatique. Cela s'applique particulièrement dans le cas de l'atténuation, où une gamme de nouvelles technologies ou de technologies en voie de développement pourrait permettre la découverte d'énergies de remplacement, la séquestration des gaz à effet de serre et

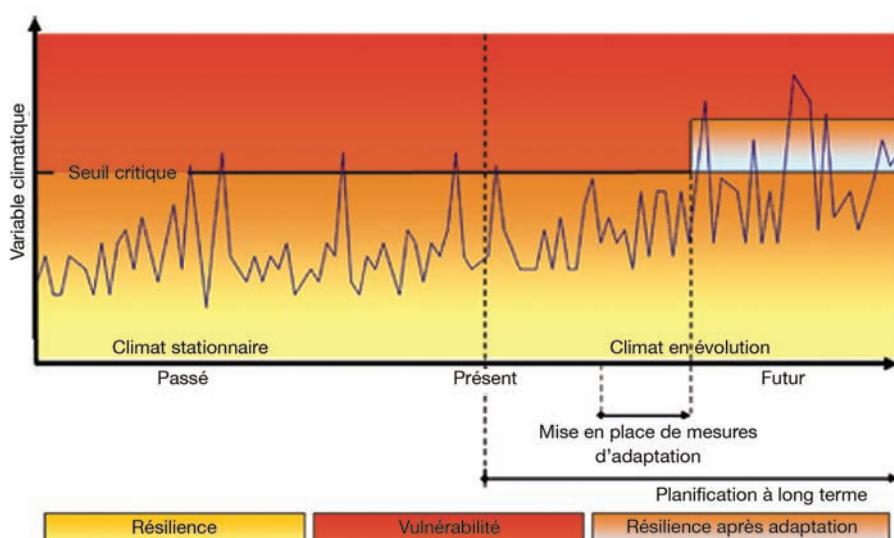


FIGURE 3 : L'adaptation augmentera la plage de tolérance, rendant les systèmes plus résilients et donc moins vulnérables au changement climatique (*extrait modifié tiré de Smit *et al.*, 1999*).

l'amélioration de l'efficacité énergétique. La technologie jouera également un rôle dans l'adaptation (United Kingdom Climate Impacts Programme, 2005). L'accès à des technologies, et leur utilisation, est couramment mentionné comme un déterminant de la capacité d'adaptation. L'utilisation de technologies pour la conservation de l'eau, par exemple, peut améliorer la capacité à faire face aux impacts du changement climatique sur l'approvisionnement en eau (*voir le chapitre 7*). Les buts des technologies utiles à l'adaptation sont notamment d'améliorer la résilience et la souplesse, de prévenir des dommages additionnels et de réduire les coûts.

Même si peu de recherches ont mis l'accent sur le rôle actuel de la technologie dans l'adaptation au changement climatique, le concept de « *technologies utiles à l'adaptation* » a fait l'objet d'une étude approfondie par Klein *et al.*, (2006). L'expression elle-même, contrairement à « technologies d'adaptation », veut dire que de nombreuses technologies pouvant être utilisées aux fins d'adaptation au changement climatique ont été élaborées à des fins qui ne sont pas nécessairement directement liées au changement climatique. En ce qui concerne l'atténuation, on vise la mise au point de nouvelles technologies, alors que l'adaptation priviliege le transfert de technologies existantes qui sont ensuite ajustées pour satisfaire aux besoins locaux. Dans la documentation traitant du changement climatique, la définition du terme est habituellement très large. On parle, par exemple, « d'une pièce d'équipement, d'une technique, d'une connaissance pratique ou de compétences permettant d'accomplir une tâche particulière » (Metz *et al.*, 2000 [traduction]), ce qui inclut donc virtuellement toutes les options d'adaptation possibles. En règle générale, on fait une distinction entre les technologies « dures » et les technologies « douces », les premières étant des produits physiques et les secondes, des pratiques et des méthodes de planification. Les stratégies d'adaptation fructueuses incluront habituellement des technologies dures et douces (Klein *et al.*, 2006). D'autres distinctions peuvent être établies entre les technologies traditionnelles, contemporaines, hautes et futures (Klein *et al.*, 2006). Dans la présente évaluation, le terme « technologies » s'applique en général aux technologies dures.

2.6 SCÉNARIOS

Un *scénario* est une « description cohérente, structurée et vraisemblable d'un état futur possible du monde » (Parry et Carter, 1998 [traduction]). Il ne s'agit pas d'une prédiction, les termes « prévision » et « prédiction » désignant un futur plus probable. Un scénario est plutôt une représentation, parmi d'autres, d'un futur possible. Les scénarios climatiques et socioéconomiques fournissent des données pour analyser les impacts, la vulnérabilité et les mesures d'adaptation. Ils constituent un point de départ pour guider et étudier les conséquences des décisions en matière d'adaptation et d'atténuation, ainsi qu'en vue de sensibiliser la population aux problèmes du changement climatique. En proposant un éventail de futurs possibles, les scénarios font en sorte que l'on peut tenir compte des *incertitudes* associées aux différentes voies que peut emprunter le développement et établir les conséquences liées aux futurs changements d'ordre climatique, social et économique. Dans le cas des scénarios nationaux et régionaux

couvrant une période supérieure à 30 ans, on a prêté une attention particulière à l'élaboration des *scénarios climatiques*, alors que les scénarios socio-économiques sont peu étoffés malgré le lien direct entre les deux.

Scénarios climatiques

La plupart des scénarios climatiques proviennent des données de sortie des *modèles climatiques*, habituellement des *modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan* (MCGAO, *voir l'encadré 3*). La pratique standard actuelle dans l'élaboration de scénarios est de calculer les changements entre la moyenne sur 30 ans (p. ex., 2040 à 2069) des prédictions de MCGAO et des conditions de *référence* (actuellement 1961 à 1990), et d'appliquer ces changements aux données d'observation. Les changements sont habituellement exprimés comme de simples différences dans le cas de la température, et les différences entre les précipitations sont exprimées en pourcentage. On calcule une moyenne sur 30 ans pour les données de sortie des modèles à la fois pour les conditions de base et les périodes futures, dans le but de s'assurer que la tendance du changement climatique à long terme est bien rendue. On entend par scénarios du changement climatique, ou champs de changement, les changements établis à partir des MCGAO. Un scénario climatique se compose des données résultant de l'application des champs de changement aux données climatiques constatées et représente une information sur le climat de la période future en question (p. ex., les années 2050).

En raison des incertitudes entourant les projections du climat (*voir l'encadré 3*), il est essentiel que les études sur les impacts et l'adaptation prennent en considération une variété de scénarios de changement climatique. L'utilisation des scénarios climatiques dans la présente évaluation est expliquée à la section 5.3. Pour de plus amples renseignements à ce sujet, les lecteurs peuvent consulter l'évaluation des scénarios portant sur les répercussions climatiques réalisée par le Groupe de travail du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (1999).

Scénarios socio-économiques

Les conditions sociales et économiques ne resteront pas stables à mesure que le climat changera, et comprendre la nature probable des changements socio-économiques est important si l'on cherche à caractériser la vulnérabilité au changement climatique. Ces scénarios, qui renferment de l'information sur la population et le développement humain, les conditions économiques, la couverture terrestre et l'utilisation des terres, et la consommation d'énergie, fournissent des renseignements précieux qui permettent une meilleure compréhension de la capacité d'adaptation. Les scénarios socio-économiques à l'échelle planétaire, qui vont jusqu'à 2100, sont le point de départ du rapport spécial sur les scénarios d'émissions intitulé *Special Report on Emissions Scenarios*, commandé par le GIEC (*voir l'encadré 3*; Carter *et al.*, 2001). Il n'est cependant pas certain que ces scénarios puissent être ramenés à une échelle suffisamment petite pour que l'on puisse étudier les impacts et les mesures d'adaptation. Des prédictions socio-économiques à l'échelle nationale et régionale peuvent être plus pertinentes pour ce genre d'études.

ENCADRÉ 3

Modélisation du climat

Modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO)²

La complexité extrême du système climatique terrestre, qui comprend des interactions dynamiques entre l'atmosphère, les océans, la **cryosphère**, la surface des terres et la biosphère, nécessite l'utilisation de modèles de la circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO) très complexes pour prévoir le changement climatique à venir. Ces modèles sont des représentations mathématiques en trois dimensions des processus physiques à grande échelle du système Terre-atmosphère-océan-surface des terres, qui offrent une vue complète et intrinsèquement cohérente du changement climatique à venir. Dans les MCGAO, le système climatique de la planète est divisé en un réseau quadrillé de cubes interconnectés, et les processus physiques qui régissent le système sont représentés par des équations mathématiques fondamentales décrivant la conservation de la quantité de mouvement, de la masse et de l'énergie. Des effets de **rétroaction** en jeu dans le système climatique, tels que ceux qui interviennent entre la neige et la glace et la réflectivité sur la surface de la Terre (**albédo**), sont inclus dans ces modèles, même si certains processus de rétroaction ne sont pas complètement spécifiés et qu'ils sont médiocrement quantifiés.

Pour prévoir le climat à venir, on doit alimenter les MCGAO avec des renseignements sur la composition future de l'atmosphère. L'évolution des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols dépend d'une foule de facteurs, dont la croissance de la population, l'activité économique, de même que l'utilisation d'énergie et de technologies. On appelle « **scénarios d'émissions** » les scénarios qui rendent compte de toutes les situations possibles en ce qui concerne les émissions. Pour son *Troisième rapport d'évaluation*, le GIEC a commandé un rapport spécial sur les scénarios d'émissions, en décrivant une quarantaine (Carter *et al.*, 2001). Six d'entre eux sont considérés comme des « scénarios repères » dont l'emploi est recommandé par les spécialistes de l'élaboration de modèles climatiques, soit les scénarios A1FI, A2, A1B, B2, A1T et B1 (présentés en ordre décroissant de forçage radiatif d'ici 2100). Aux extrêmes, le scénario A1F1 décrit un monde où les combustibles fossiles sont utilisés intensivement, où il y a une très rapide croissance économique, une population mondiale qui atteint son sommet vers 2050 et une introduction rapide de nouvelles technologies. Quant au scénario B1, il décrit un monde convergent où la population atteint aussi son sommet vers 2050, mais où il y a de rapides changements économiques vers une économie de services et de l'information, de même que l'introduction de technologies écologiques et écoénergétiques (Carter *et al.*, 2001). Les meilleures estimations et les plages probables des changements de températures et de l'**élévation du niveau de la mer** moyennés à l'échelle de la planète pour chacun de ces scénarios repères sont illustrées au tableau 3.

L'incertitude quant aux prévisions climatiques augmente avec le temps. Les scénarios d'émissions représentent une source particulière d'incertitude, liée aux futures voies de développement. Même si cette incertitude ne peut être évitée, il est important de mentionner que les scénarios d'émissions ne deviennent une source d'incertitude importante qu'après 2030 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Une autre source d'incertitude tient des différences entre les MCGAO, et la façon dont les processus physiques et les rétroactions sont simulés. Ces disparités font que les différents MCGAO simulent des valeurs différentes de réchauffement planétaire par unité de changement propre au forçage radiatif. De nouvelles façons de traiter les incertitudes ont vu le jour depuis 2001 (Solomon *et al.*, 2007).

Modèles climatiques régionaux (MCR)

Les données issues des modèles climatiques régionaux ont une résolution spatiale plus élevée, c'est-à-dire plus détaillée que celle des MCGAO, puisqu'un MCR à résolution élevée est emboîté dans un

TABLEAU 3 : Influence du scénario sur les changements de températures et l'élévation du niveau de la mer projetés. Source : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a).

Cas	Changement dans la température (°C pour 2090-2099 par rapport à 1980-1999) ^a		Élevation du niveau de la mer ^b (m pour 2090-2099 par rapport à 1980-1999)
	Meilleure estimation	Plage de probabilité	
Concentrations constantes durant l'année 2000 ^c	0,6	0,3 - 0,9	s.o.
Scénario B1	1,8	1,1 - 2,9	0,18 - 0,38
Scénario A1T	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,45
Scénario B2	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,43
Scénario A1B	2,8	1,7 - 4,4	0,21 - 0,48
Scénario A2	3,4	2,0 - 5,4	0,23 - 0,51
Scénario A1FI	4,0	2,4 - 6,4	0,26 - 0,59

^a Ces estimations sont évaluées selon une hiérarchie de modèles qui comprennent un modèle climatique simple, plusieurs modèles de complexité intermédiaire du système Terre (MCIST) et un grand nombre de modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO).

^b Les estimations de l'élévation du niveau de la mer sont fondées sur les taux d'écoulement constatés au Groenland et en Antarctique de 1993 à 2003. Ceux-ci peuvent augmenter ou diminuer dans le futur. S'ils devaient croître de façon linéaire avec l'élévation de la température planétaire moyenne, les plages supérieures du tableau augmenteraient de 0,1 à 0,2 m.

^c La composition constante au niveau de l'année 2000 a seulement été tirée des MCGAO.

MCGAO à résolution plus faible. Comme les MCR s'appuient sur les données du MCGAO, ils peuvent comporter les mêmes erreurs systématiques (Institut canadien d'études climatologiques, 2002). Un de leurs avantages, par contre, réside dans le fait qu'ils fournissent de l'information de nature spatiale plus détaillée et dont l'échelle convient ainsi mieux aux études sur les impacts du climat (Laprise *et al.*, 1998). Actuellement, les sorties de MCR ne sont disponibles par contre que pour un nombre limité de combinaisons de MCGAO et de scénarios d'émissions, et elles ne couvrent généralement pas une gamme complète d'avenirs vraisemblables. Toutefois, les travaux dans ce domaine évoluent rapidement puisque l'analyse et la quantification de la confiance et de l'incertitude associées aux MCR représentent aujourd'hui un domaine de recherche très important (Caya, 2004; Déqué *et al.*, 2005; Plummer *et al.*, 2006).

Au Canada, les chercheurs ont accès à une quantité limitée de données provenant du modèle régional canadien du climat (MRCC), par l'entremise du Centre canadien de modélisation et de l'analyse climatique (voir <http://www.cccma.ec.gc.ca/french/models/crcm.shtml>). Laprise *et al.*, (2003) et Plummer *et al.* (2006) traitent également de la sensibilité et de la validation du modèle. Le consortium Ouranos fournit des services d'aide à l'élaboration du MRCC et a utilisé des scénarios fondés sur les MCR pour analyser les impacts du changement climatique (voir le chapitre 5).

² Également appelés modèles climatiques planétaires ou modèles de circulation générale (MCG).

3 SCIENCE DU CLIMAT

La science du climat est un aspect intrinsèque et important lorsqu'on se penche sur la question de la vulnérabilité. Comprendre pourquoi et comment le climat est en train de changer est essentiel pour composer avec le changement climatique. Chaque chapitre à caractère régional de la présente évaluation considère le climat actuel, les tendances climatiques récentes et les projections du climat de la région comme des données dans l'analyse de la sensibilité et de la vulnérabilité. La présente section vient compléter ces chapitres en offrant un résumé des causes du changement climatique ainsi que des indications des récents changements mondiaux et des changements à venir. Le changement climatique au Canada est présenté en détail dans la section 4.3. Pour de plus amples renseignements, les lecteurs peuvent consulter le rapport *Une introduction au changement climatique – Une perspective canadienne* (Hengeveld *et al.*, 2005), de même que les rapports plus techniques préparés par le Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2001c, 2007a).

3.1 MOTEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les moteurs du changement climatique comprennent à la fois des facteurs naturels, tels que l'orbite solaire, les cycles des taches solaires et les éruptions volcaniques, et des facteurs de nature anthropique, notamment les émissions de gaz à effet de serre. Ces moteurs ont une incidence sur la quantité d'énergie que la Terre reçoit du Soleil et sur la quantité qui en est retenue dans l'atmosphère et les océans, entraînant des changements dans tous les éléments du climat, dont la température, les précipitations et la circulation atmosphérique.

Les moteurs interviennent à diverses échelles de temps. Les changements de certains facteurs (p. ex., l'orbite de la Terre autour du Soleil) s'effectuent sur des dizaines ou des centaines de milliers d'années, alors que d'autres (p. ex., les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et d'aérosols volcaniques) surviennent en moins de temps. Pour des échelles de temps de quelques dizaines ou centaines d'années, les moteurs à long terme, comme la variation de l'orbite, ne sont pas pertinents puisque, malgré l'ampleur de ces changements du climat lorsqu'ils s'accumulent sur des millénaires, la vitesse de changement au cours d'un siècle est très lente, soit environ 0,1 °C ou moins par siècle.

Depuis le milieu du XX^e siècle, les activités humaines, dont la combustion de combustibles fossiles et les changements dans l'utilisation des terres, sont la principale cause du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Cette tendance devrait se poursuivre au cours du présent siècle, et encore davantage, ce qui mènera à une vitesse de réchauffement planétaire plus rapide que ce qui a été vécu depuis

plusieurs milliers d'années (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Changements paléoclimatiques

Au cours des deux derniers millions d'années et demi, le climat de la Terre a été dominé par de grandes fluctuations entre des périodes glaciaires et interglaciaires. Même si les températures moyennes à la surface de la planète pendant les périodes glaciaires n'étaient que d'environ 4 à 6 °C inférieures que durant les périodes interglaciaires chaudes, ces changements ont suffi à modifier le paysage du Canada, qui est passé d'un endroit presque entièrement couvert d'inlandsis au biome accueillant d'aujourd'hui. La dernière période de déglaciation mondiale a commencé il y a environ 20 000 ans, et des conditions totalement interglaciaires dominent le climat depuis 10 000 ans. Le meilleur analogue de la phase interglaciaire actuelle, aussi bien en ce qui a trait au forçage climatique qu'au type de changement paléographique, est celui qui est survenu il y a près de 400 000 ans (European Project for Ice Coring in Antarctica community members, 2004). Une comparaison entre les deux périodes semble indiquer que le climat présent, s'il continuait à évoluer naturellement, pourrait durer encore 20 000 ans ou plus avant la prochaine époque glaciaire.

On pense que les changements en matière d'insolation, phénomène causé par des variations de l'orbite de la Terre autour du Soleil, sont un des principaux moteurs du changement climatique lors des cycles glaciaires-interglaciaires. Ces variations incluent le cycle de 100 000 ans de la forme (excentricité orbitale) de l'orbite de la Terre (d'une ellipse à un cercle, avant de revenir à sa forme de départ), le cycle de 42 000 ans de l'angle (obliquité) de son axe de rotation par rapport à l'orbite, ainsi que les cycles de 22 000 ans et de 19 000 ans de la précession (effet toupie). La reconstitution des changements dans la composition de l'atmosphère au cours des 650 000 dernières années, à partir de carottes extraites d'inlandsis polaires, révèle que les réactions des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'hémioxyde d'azote (trois importants gaz à effet de serre naturels) amplifient significativement les effets climatiques des changements de l'insolation (Hutterli *et al.*, 2005; Spahni *et al.*, 2005).

L'analyse de divers relevés climatiques indirects extraits de carottes de glace polaire, de sédiments marins et d'autres sources semble indiquer que les températures mondiales ont été remarquablement stables au cours des 10 000 dernières années, période appelée « Holocène ». Par contre, ces données indiquent aussi des changements importants dans les climats régionaux, probablement à cause de la variabilité naturelle interne du climat. Il y aurait donc eu une redistribution de la chaleur au sein du système climatique, au lieu d'un changement dans l'énergie totale du système (comme dans le cas de l'augmentation de l'effet de serre).

Forçages anthropiques

Les activités humaines, dont les émissions de gaz à effet de serre (p. ex., de dioxyde de carbone, méthane et hémioxyde d'azote), les émissions d'aérosols (p. ex., sulfates, carbone, nitrates et poussières) et les changements dans l'utilisation des terres (p. ex., déforestation, aménagement) ont une répercussion de plus en plus grande sur le climat mondial. Même si des facteurs naturels peuvent être responsables d'une grande partie du changement climatique qui est survenu à l'échelle planétaire au cours de la première partie du XX^e siècle, le réchauffement constaté vers la fin du siècle a principalement été causé par des activités humaines qui ont fait augmenter les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (voir le tableau 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001c, 2007a). Depuis 1950, l'effet du forçage radiatif anthropique sur le climat a été environ cinq fois plus important que l'influence des changements du rayonnement solaire (voir la figure 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 2007a).

La vitesse d'augmentation des concentrations d'hémioxyde d'azote et de méthane causées par les êtres humains est actuellement stable ou en déclin, mais celle des émissions de dioxyde de carbone (le plus important gaz à effet de serre, doté d'une très haute influence anthropique) continue de croître (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Les principales sources d'émissions de dioxyde de carbone sont les combustibles fossiles (production, distribution et utilisation), la

TABLEAU 4 : Concentrations actuelles et préindustrielles des principaux gaz à effet de serre (établies d'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Gaz à effet de serre	Concentration en 2005	Concentration préindustrielle
Dioxyde de carbone	379 ppm	~280 ppm
Méthane	1 774 ppb	~715 ppb
Hémioxyde d'azote	319 ppb	~270 ppb

production de ciment, de même que les changements dans l'utilisation des terres, surtout ceux liés aux activités forestières et à l'agriculture.

Les aérosols atmosphériques émis par les activités humaines ont également des conséquences sur le climat, d'une façon à la fois directe (en réfléchissant la lumière du Soleil dans l'espace) et indirecte (à cause de leurs effets sur les propriétés des nuages). Même si leurs effets sont de courte durée, parce qu'ils sont éliminés par la gravité et les précipitations, ils agissent d'une façon importante sur le forçage radiatif à l'échelle continentale ou planétaire. Les aérosols, qui ont un forçage radiatif négatif (effet de refroidissement), ont probablement servi à contrebalancer une partie du réchauffement qui, autrement, aurait été créée par les gaz à effet de serre durant le XX^e siècle (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

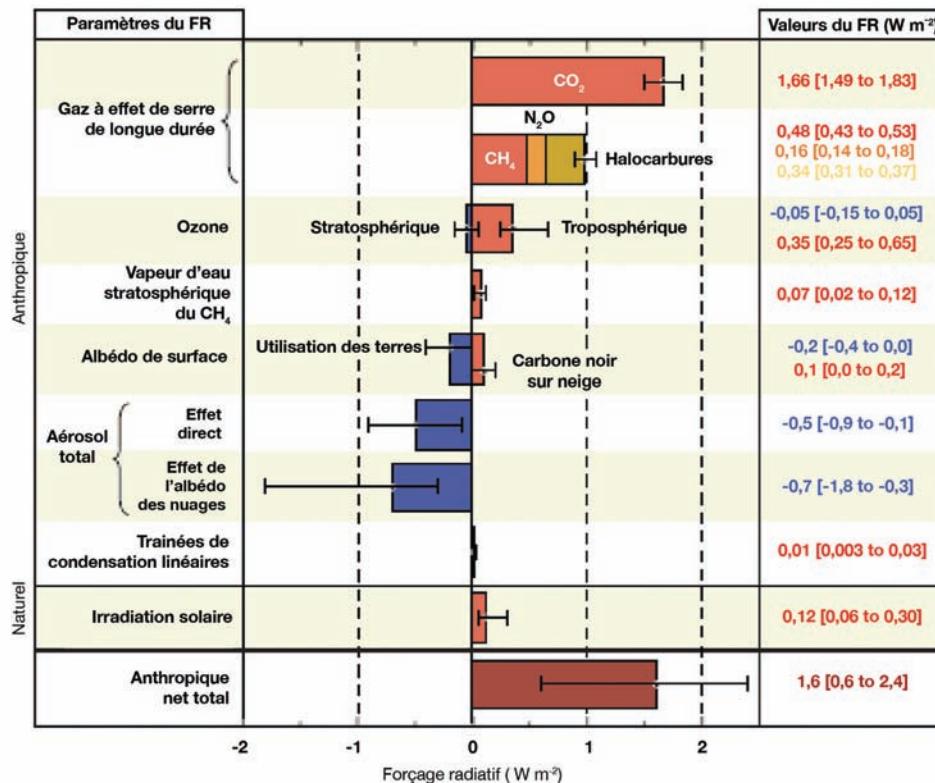


FIGURE 4 : Moyenne mondiale (2005) des composantes du forçage radiatif des agents et des mécanismes importants. Extrait modifié tiré de Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a).

Rétroactions et interactions

En plus de ces moteurs principaux du changement climatique, le système climatique se caractérise par de nombreuses interactions et rétroactions complexes, à diverses échelles spatiales et temporelles, qui accentuent ou atténuent le changement climatique. Certaines de ces rétroactions sont positives, c'est-à-dire qu'elles augmentent l'ampleur du changement initial, et d'autres sont négatives, c'est-à-dire qu'elles l'atténuent. Le rôle de la vapeur d'eau atmosphérique (qui agit aussi comme un gaz à effet de serre) et des nuages (qui réfléchissent la lumière du Soleil et absorbent le rayonnement thermique réfléchi) est une rétroaction particulièrement importante. Des températures plus élevées augmentent la vitesse d'évaporation superficielle de l'eau et la capacité de l'atmosphère à conserver la vapeur d'eau (rétroaction positive). L'augmentation de la teneur en vapeur d'eau a également des conséquences complexes sur la répartition et les propriétés des nuages, entraînant des rétroactions tant positives que négatives. Une autre rétroaction importante est le changement dans la propriété de réflexion de la surface de la Terre (albédo), qui résulte des changements dans l'étendue des surfaces couvertes par la neige et la glace. Un autre exemple de rétroaction positive qui accentuerait le changement climatique est la possibilité de libération d'importants volumes de méthane en raison de la dégradation du pergélisol et de la décomposition subséquente de matériaux organiques qui étaient gelés (voir Hyndman et Dallimore, 2001). Fait intéressant, une autre rétroaction négative est la possibilité de la fonte d'une partie de la couverture de la glace de mer de l'Arctique, permettant aux eaux marines de retirer davantage de CO₂ de l'atmosphère (Bates *et al.*, 2006).

3.2 VARIABILITÉ DU CLIMAT

Les interactions entre l'océan et l'atmosphère, et les changements de la circulation qui leur sont associés, sont la principale cause de la variabilité du climat. Ces changements ne sont pas directement liés à ceux du bilan énergétique mondial, même si des interactions indirectes sont probables. Cette variabilité est principalement naturelle, se reproduisant à des échelles de quelques mois à des décennies, ou même plus. Comme les oscillations modifient les masses de courants d'air chaud et froid et dévient les trajectoires des tempêtes, elles sont souvent la cause de tendances, dans une région ou un endroit, opposées à celles qui caractérisent d'autres régions. Les oscillations causent donc des changements relativement faibles dans un climat à grande échelle, mais leur impact sur le climat régional de différentes parties du Canada peut être considérable.

Les variations climatiques importantes pour le Canada sont notamment :

El Niño-oscillation australe

(*El Niño-Southern Oscillation ou ENSO*) :

Ce régime de variabilité bien connu fait varier les températures en surface de l'océan Pacifique tropical, passant de conditions de type El Niño (températures anormalement chaudes à l'est du Pacifique

tropical) à des conditions de type La Niña (eaux de surface beaucoup plus froides dans le Pacifique tropical) d'une façon cyclique, environ une fois tous les trois à sept ans. Durant les années de transition, aucune condition ne domine.

La force des alizés de l'est, sous les tropiques, est étroitement liée au comportement de l'ENSO. De forts épisodes d'El Niño et de La Niña, par contre, peuvent agir sur la circulation atmosphérique et les trajectoires des tempêtes au Canada, et donc sur les régimes de températures et de précipitations. Les impacts les plus évidents se manifestent en Colombie-Britannique, où les épisodes d'El Niño entraînent des conditions plus chaudes et plus sèches que les épisodes de La Niña (voir le chapitre 8). Les impacts de l'ENSO sont plus forts en hiver et au printemps, en plus d'être des facteurs importants de la variabilité climatique du pays d'une année à l'autre.

Oscillation décennale du Pacifique (Pacific Decadal Oscillation ou PDO) :

Ce régime de variabilité est très important dans le nord de l'océan Pacifique et a donc une grande influence sur les climats des latitudes moyennes en Amérique du Nord, en particulier dans l'ouest du Canada. On ne comprend pas encore bien ses causes, mais elles sont probablement liées aux processus de circulation océanique. Il n'y a pas assez de données recueillies pour déterminer si l'oscillation décennale du Pacifique est un régime de variabilité permanent, mais deux cycles complets se sont produits au cours du dernier siècle. La phase positive (chaude) du PDO est caractérisée par des eaux côtières chaudes dans le nord-est du Pacifique. En Colombie-Britannique, elle s'accompagne de températures hivernales et printanières légèrement plus élevées et d'effets variés sur les précipitations, alors que la phase négative entraîne des conditions plus froides et humides (voir le chapitre 8). L'oscillation a donc eu un impact majeur sur la variabilité du climat presque partout au Canada, et ce, sur des échelles de temps pluridécennales.

Oscillations arctique et nord-atlantique (Arctic Oscillation et North Atlantic Oscillation ou AO et NAO) :

L'oscillation nord-atlantique est un indicateur des différences de pression atmosphérique entre les latitudes hautes et moyennes du nord de l'océan Atlantique. Comme elle est liée au comportement des vents de l'ouest dans l'hémisphère Nord, ses variations ont une incidence sur tout l'hémisphère. À l'inverse, les indices de l'oscillation arctique, également connue sous le nom de « mode annulaire de l'hémisphère » (Northern Annular Mode ou NAM), décrivent la variation dans les régimes de pression autour du pôle Nord. Les deux types d'oscillations semblent étroitement liés. Leurs variations agissent de façon importante sur la variabilité mensuelle et annuelle des climats de l'hémisphère Nord, en plus de présenter de fortes tendances à long terme. Certains signes indiquent que le comportement anormal évident des deux indices au cours des années 1990 pourrait refléter l'influence des êtres humains sur le système de circulation climatique mondial (Hegerl *et al.*, 2007).

3.3 CHANGEMENTS CLIMATIQUES CONSTATÉS ET PROJETÉS (À L'ÉCHELLE MONDIALE³)

Changements constatés

« Le réchauffement du système climatique est sans équivoque. »
(Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a [traduction])

Au cours du siècle passé, la planète s'est réchauffée. Le changement se constate dans la hausse des températures mondiales moyennes de l'air et des océans, l'élévation du niveau de la mer et la diminution de la couverture de neige (voir la figure 5) et de glace. Les températures plus élevées ont été accompagnées par de nombreux autres changements constatés dans le climat planétaire (voir le tableau 5). On estime, par exemple, que le niveau de la mer a monté de 0,17 m (entre 0,12 m et 0,22 m) au cours du siècle passé et que l'augmentation s'est accélérée au cours des dix dernières années (1993 à 2003; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Des changements dans les régimes de précipitations ont également été constatés. Les précipitations ont augmenté dans certaines régions (p. ex., nord de l'Europe, nord et centre de l'Asie et nord de l'Amérique du Nord), alors qu'elles ont subi une baisse dans d'autres endroits (p. ex., prairies subsahariennes et sud-est de l'Afrique). De façon générale, les précipitations ont augmenté aux latitudes élevées et sous les tropiques, mais elles ont diminué dans la région subtropicale. Plus préoccupante encore pour certaines régions que les

changements dans les régimes de précipitations annuelles est la fréquence accrue des épisodes de précipitations fortes qui fait déborder les systèmes de drainage, cause des inondations considérables, déclenche des glissements de terrain et compromet l'eau potable et les réseaux d'égouts, ce qui entraîne des décès et de lourdes conséquences sur la santé et l'économie (voir le chapitre 9).

Prévisions du climat

Les prévisions du climat proviennent des expériences de modélisation du climat (voir l'encadré 3). Dans de nombreux cas, les changements à venir s'accompagneront d'une poursuite, et souvent d'une accélération, des tendances observées au XX^e siècle. Le *Quatrième rapport d'évaluation* du Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a; Meehl *et al.*, 2007) traite des principaux changements prévus au XXI^e siècle (voir le tableau 6). Dans ce rapport, parmi les avancées notables, comparativement aux précédentes évaluations du GIEC, figurent une plus grande confiance dans les projections des modèles, une meilleure prévision des phénomènes extrêmes et une plus solide attribution des changements constatés aux forçages d'origine anthropique, toutes découlant des progrès de la science du climat, de la capacité des ordinateurs et de l'allongement des périodes d'observation.

Selon les meilleures estimations du GIEC, la température mondiale moyenne montera de 0,2 °C tous les dix ans au cours des 20 prochaines années. Il s'agit là d'une prévision qui fait réfléchir, puisque, même si les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre étaient maintenues au niveau de l'an 2000, la température

TABLEAU 5 : Changements constatés dans les indicateurs du climat et des conditions météorologiques (établis d'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Indicateur	Changement	Commentaires
Température de l'air	Élevation de 0,74°C Élevation de 0,13 °C tous les dix ans	Tendance (1906 à 2005) Vitesse (durant les 50 dernières années)
Température de l'océan	Élevation jusqu'à des profondeurs de 3 000 m	
Niveau de la mer	Élevation de 1,8 mm/an Élevation de 0,17 m	Vitesse (1961 à 2003) Total (1900 à 2000)
Couverture de neige	Diminution	Hémisphère Nord
Glaciers de montagne	Recul généralisé	Depuis 1900
Étendue de la glace de mer de l'Arctique	Diminution de 2,7 p. 100 tous les dix ans	Vitesse (1978-2005)
Étendue du pergélisol	Diminution d'environ 7 p. 100	Quantité depuis 1900
Épisodes de fortes précipitations	Fréquence accrue	
Sécheresses	Gravité et durée accrues	Depuis les années 1970
Vagues de chaleur	Fréquence accrue	
Tempêtes tropicales	Intensité accrue	Depuis les années 1970

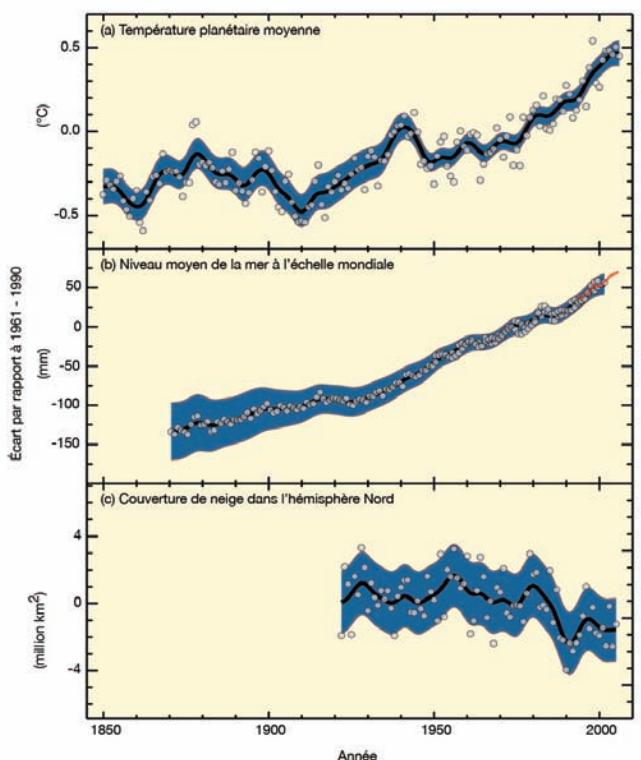


FIGURE 5 : Changements constatés (par rapport à la période de 1961 à 1990) de la température, du niveau de la mer et de la couverture de neige dans l'hémisphère Nord (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

³ Les changements constatés et projetés au Canada sont présentés dans la section 4.3.

moyenne de la planète continuerait de s'élever de 0,1 °C par décennie (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a) pendant encore 20 ans. Il est également prévu que le réchauffement variera dans l'espace, le réchauffement le plus considérable se manifestant dans l'intérieur des terres et aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Les précipitations devraient également augmenter aux latitudes élevées et diminuer dans les régions terrestres subtropicales. On estime que le niveau de la mer va s'élever de 0,18 m à 0,59 mètre par 2100, selon le scénario utilisé (*voir le tableau 3*).

Les températures plus élevées seront accompagnées d'une réduction continue de la couverture de neige ainsi que de la superficie et de la durée du couvert de glace de l'Arctique, et d'une augmentation de la profondeur de la couche active du pergélisol (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). À plus long terme, l'ampleur du réchauffement planétaire et de l'élévation du niveau de la mer projetée dépend des hypothèses propres au scénario utilisé (*voir le tableau 3*), mais il est important de mentionner que l'orientation de ces changements est la même d'un scénario d'émissions à l'autre.

Des changements en ce qui concerne les conditions météorologiques extrêmes, notamment les journées chaudes et froides ainsi que les épisodes de précipitations fortes, iront de pair avec le réchauffement progressif (Kharin *et al.*, 2007). Selon les sorties de passes plurimodèles (12 à 14 modèles), Kharin *et al.*, (2007) ont projeté que les journées de chaleur extrême de l'été deviendront encore plus chaudes, que les froids extrêmes de l'hiver s'atténuieront considérablement et qu'il y aura plus d'épisodes de fortes précipitations. D'autres études semblent indiquer que les tempêtes tropicales et hivernales pourraient devenir plus intenses en raison du réchauffement des températures à la surface des mers (Webster *et al.*, 2005; Lambert et Fyfe, 2006).

Les chercheurs reconnaissent qu'il y a un risque réel et restreint d'importantes surprises potentiellement cataclysmiques qui ne sont pas rendues par les modèles (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a), mais qui pourraient avoir des conséquences désastreuses. Il s'agit entre autres 1) de la possibilité d'un ralentissement soudain ou d'un arrêt de la circulation

TABLEAU 6 : Changements climatiques projetés (établis d'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Indicateur	Changement	Probabilité
Jours et nuits froids	Plus chauds et moins fréquents	Virtuellement certain
Jours et nuits chauds	Plus chauds et plus fréquents	Virtuellement certain
Vagues de chaleur	Plus fréquentes	Très probable
Chaleur extrême	Plus fréquente	Très probable
Épisodes de fortes précipitations	Plus fréquents	Très probable
Circulation méridionale de renversement de l'Atlantique	Ralentissement (25 p. 100)	Très probable
Sécheresses	Accrues dans les zones touchées	Probable
Tempêtes tropicales	Plus intenses	Probable

mérienne de retournement de l'Atlantique, qui transporte beaucoup de chaleur de l'équateur vers le nord de l'Atlantique et sans laquelle la température annuelle de l'Europe serait beaucoup plus basse; 2) de la désintégration de l'inlandsis de l'ouest de l'Antarctique, qui pourrait causer une élévation mondiale du niveau de la mer de cinq mètres; 3) de la libération soudaine de grandes quantités de méthane des hydrates de gaz gelés sous le plancher océanique, phénomène susceptible de faire augmenter rapidement les concentrations de méthane dans l'atmosphère et d'accélérer ainsi le réchauffement à l'échelle planétaire. Même s'il semble peu probable que de telles surprises aient toutes lieu au cours du prochain siècle, les processus irréversibles menant à leur réalisation pourraient s'enclencher avant 2100. Les enregistrements paléoclimatiques révèlent que ce genre de surprises est déjà survenu dans le passé, particulièrement au cours de périodes de transition climatique rapide.

4 APERÇU DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU CANADA

Ainsi que précédemment mentionné à la section 2, la compréhension des risques et des possibilités que le changement climatique présente pour le Canada tient à la connaissance que l'on a non seulement du phénomène mais également de la sensibilité au climat des principaux aspects de l'économie et du tissu social du Canada, et à la capacité des gouvernements canadiens, de l'industrie et des individus de mettre en œuvre des mesures d'adaptation.

Le Canada est un pays vaste qui présente une grande diversité d'une région à l'autre sur les plans du climat, des paysages, des collectivités et de l'économie, que mettent en évidence les contrastes entre les divers chapitres à caractère régional de la

présente évaluation. Les tendances et les projections à l'échelle nationale fournissent un contexte précieux pour les analyses régionales. Au cours des 50 dernières années, les changements du climat ont entraîné une hausse des températures dans la plupart des régions du Canada, en plus de modifier les régimes de précipitations, de réduire l'étendue de la glace de mer, d'altérer les conditions hydrologiques et de modifier le caractère de certains phénomènes météorologiques extrêmes. Pendant la même période, le secteur des services est devenu prédominant dans l'économie du pays, la population a vieilli et augmenté dans les grands centres urbains. Selon toute vraisemblance, ces tendances se poursuivront et auront des implications sur la vulnérabilité dans l'avenir. Par exemple, le secteur des services est sans doute moins sensible aux

changements du climat que celui des ressources primaires, et les personnes âgées ont généralement plus de difficulté à faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes, comme les vagues de chaleur. Les économies vigoureuses disposent également d'un éventail plus large d'options en matière d'adaptation et sont considérées comme plus en mesure de s'adapter.

La présente section donne un aperçu de ce que le changement climatique signifie pour le Canada en examinant les conditions actuelles, les tendances constatées et les projections sur les plans de l'économie, de la population et du climat. L'importance de l'échelle est un thème récurrent dans l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique, en ce sens qu'elle met en évidence le fait que les analyses globales aux échelles nationale et mondiale sous-estimeront inévitablement l'ampleur des impacts économiques et sociaux qui se manifestent aux échelles régionale et locale.

4.1 L'ÉCONOMIE CANADIENNE

État actuel

L'économie canadienne est vaste et diversifiée, et le PIB national s'élève à plus de 1 billion de dollars. Il s'agit principalement d'une économie tertiaire : le secteur des services représente près de 70 p. 100 du PIB, tandis que les industries productrices de biens y comptent pour environ 30 p. 100 (*voir* le tableau 7). Dans le secteur des services, les principaux contributeurs sont les secteurs de la finance et des assurances, de la vente en gros et au détail, des soins de santé et de l'administration publique. Dans le secteur des industries productrices de biens, ce sont les industries manufacturières (de l'automobile, des aéronefs et des produits pharmaceutiques) qui y contribuent le plus. Les industries axées sur l'exploitation des ressources naturelles, à savoir les mines, l'agriculture, les forêts, la pêche et la chasse, ne représentent qu'un faible pourcentage du PIB à l'échelle nationale (*voir* le tableau 7), mais elles demeurent une composante importante de l'économie canadienne. Ces industries ont toujours joué un rôle majeur dans la croissance du pays et contribuent encore pour beaucoup au commerce extérieur et au fondement de la richesse nationale.

Tendances et projections

La vigueur de l'économie canadienne au cours des dix dernières années s'est traduite par une croissance continue de la production par habitant grâce à la fois à un taux d'emploi à la hausse et à une plus grande productivité de la main-d'œuvre. La augmentation de la productivité, qui est largement attribuable au développement technologique et aux activités d'investissement, devrait se maintenir à court et à moyen termes. À la lumière des tendances actuelles, il est raisonnable d'envisager une croissance soutenue du PIB canadien et un accroissement de la richesse du pays.

TABLEAU 7 : Produit intérieur brut aux prix de base selon le type d'activité
(Statistique Canada, 2007a).

	En millions de dollars constants (1997)				
	2002	2003	2004	2005	2006
Industries de production de biens :					
Agriculture, foresterie, pêche et chasse	19 721	21 632	23 047	23 777	23 373
Exploitation minière et extraction de pétrole et de gaz	36 345	38 287	39 469	39 750	40 157
Fabrication	172 130	171 499	174 992	176 497	174 992
Construction	54 620	56 274	59 764	63 108	67 618
Services publics	26 982	27 221	27 366	28 562	28 042
Industries de services :					
Transport et entreposage	46 638	47 176	49 494	51 403	52 792
Industrie de l'information et industrie culturelle	41 017	41 924	42 534	44 258	45 315
Commerce de gros	57 846	60 252	63 510	68 040	73 510
Commerce de détail	56 771	58 533	60 732	63 627	67 273
Finance et assurance, services immobiliers et services de location et de location à bail, gestion de sociétés et d'entreprises	193 595	197 828	205 480	212 385	220 507
Services professionnels, scientifiques et techniques	43 729	45 610	46 838	48 284	49 728
Services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement	21 799	22 531	23 351	24 187	25 664
Administrations publiques	56 346	57 882	59 084	59 902	61 527
Services d'enseignement	44 712	45 252	46 293	47 055	47 959
Soins de santé et assistance sociale	56 933	58 369	59 477	60 305	61 572
Arts, spectacles et loisirs	9 130	9 117	9 223	9 283	9 529
Hébergement et services de restauration	23 063	22 533	22 983	23 223	24 143
Autres services (sauf les administrations publiques)	24 496	25 065	25 529	26 015	26 628
Toutes les industries ¹	985 873	1 006 985	1 039 166	1 069 661	1 100 329

¹ Système de classification des industries de l'Amérique du Nord

ENCADRÉ 4

Collectivités tributaires des ressources

L'agriculture, la foresterie, la pêche et la chasse ne représentent que 2 p. 100 environ du PIB national (*voir le tableau 7*) et, au plus, 7 p. 100 du PIB provincial (en Saskatchewan); ces secteurs sont néanmoins essentiels au bien-être économique de nombreuses sous-régions et collectivités, où les activités axées sur les terres et les ressources sont toujours à la base de la vie économique. Par exemple, le bien-être économique de plus de 1600 collectivités canadiennes dépend à plus de 30 p. 100 d'un ou de plusieurs de ces secteurs (c'est-à-dire que 30 p. 100 ou plus des revenus d'emploi proviennent de ces secteurs; Ressources naturelles Canada, 2006). Parmi ces 1 600 collectivités, 808 dépendent de l'agriculture, 651 du secteur forestier et environ 200 du secteur des pêches.

Il convient de noter que ces estimations ne rendent pas compte des petites collectivités tributaires des ressources naturelles (population de moins de 250 personnes).

De plus, les ressources naturelles font partie intégrante des modes de vie des collectivités autochtones du Canada. L'économie de subsistance peut y constituer de 25 p. 100 à 50 p. 100 de l'économie globale, et sa valeur pourrait se chiffrer à environ 15 000 \$ par ménage dans l'Arctique et à la moitié de ce montant dans la région sub-arctique (Berkes et Fast, 1996; Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006).

Toutefois, la comptabilité économique traditionnelle reflète mal ces valeurs.

Plusieurs facteurs augmentent la vulnérabilité des collectivités tributaires des ressources au changement climatique. Il s'agit de la forte sensibilité au climat de nombreuses ressources naturelles (l'agriculture, la forêt et les pêches), ainsi que de nombre d'autres facteurs liés à une faible capacité d'adaptation, notamment une diversification économique limitée, la pénurie de ressources économiques qui peuvent être consacrées à l'adaptation, le vieillissement de la population et un accès généralement plus restreint aux services (p. ex., un isolement plus marqué).

Dans l'ensemble, les répercussions économiques à l'échelle des collectivités peuvent être importantes. Les analyses globales ont tendance à occulter les effets cruciaux à l'échelle locale et les difficultés imposées.

• **Coûts liés aux impacts sur la sécurité publique, la santé et le bien-être des populations :** bien que difficiles à quantifier et à prévoir, ces coûts peuvent être élevés. À titre d'exemple, l'incidence des maladies à transmission vectorielle, les effets à long terme des inondations (p. ex., les répercussions sur la santé mentale, les problèmes de moisissure et les difficultés financières) et les impacts d'un climat en évolution sur la culture et les modes de vie traditionnels. Une diminution des phénomènes climatiques extrêmes en hiver pourrait par contre présenter des avantages.

• **Impacts causés par les changements hydrologiques s'opérant dans les lacs et les cours d'eau :** les variations des niveaux d'eau et de l'approvisionnement en eau exerceront des pressions sur plusieurs secteurs économiques, dont l'énergie (p. ex., l'hydroélectricité), le tourisme et les loisirs, les pêches en eau douce et les transports.

Le changement climatique aura une incidence sur l'économie canadienne en progression rapide, car les facteurs démographiques, commerciaux et technologiques exercent une grande influence sur les réalisations futures. Il est donc difficile de prévoir l'ampleur des impacts du phénomène sur l'économie canadienne. Les modèles semblent indiquer que, même si, dans l'ensemble, les répercussions sur l'économie seraient légèrement avantageuses à court terme dans un scénario de réchauffement modéré, les systèmes ne pourront faire face à une élévation plus grande des températures et aux changements du climat qui en découlent, entraînant ainsi des pertes économiques nettes (Stern, 2006). Il faut également bien comprendre que la plupart des études menées jusqu'ici sur les répercussions économiques du changement climatique ne tiennent compte que des changements des conditions moyennes et ne prennent pas en considération les phénomènes météorologiques extrêmes, malgré le fait que les catastrophes naturelles associées à ces phénomènes occasionnent fréquemment des coûts importants à court et à long termes. De plus, les économies locales et régionales pourraient subir des pertes graves dues à la fois aux phénomènes météorologiques extrêmes et à des changements progressifs à plus long terme du climat. À l'échelle locale, les collectivités tributaires de ressources naturelles sensibles au climat pourraient être particulièrement vulnérables au changement climatique (*voir l'encadré 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b*).

Les rapports d'ensemble nationaux, dans lesquels les pertes ou les gains sont exprimés en termes de PIB national, ont tendance à occulter les répercussions sur les provinces et territoires plus petits. Ainsi, par exemple, l'affondrement de la pêche à la morue du Nord, à Terre-Neuve, en 1992, a eu des répercussions catastrophiques à l'échelle de la province et des collectivités, dont la perte de quelque 40 000 emplois (Mason, 2002), et, pourtant, son incidence se fait à peine sentir à l'échelle du PIB national.

Certains des principaux impacts du changement climatique sur l'économie canadienne peuvent être regroupés, par catégorie, de la façon suivante :

- **Impacts des phénomènes extrêmes et des perturbations naturelles :** les pertes économiques qui découlent de tels événements au Canada s'élèvent souvent à des centaines de millions de dollars (p. ex., louragan Juan, les tempêtes de grêle en Alberta, les feux de friche en Colombie-Britannique), voire des milliards de dollars (la tempête de verglas en 1998, l'inondation au Saguenay en 1996, les sécheresses d'échelle nationale en 2001 et 2002). Il ne faut pas oublier non plus les dommages causés par les insectes aux forêts et aux cultures, qui peuvent être considérables.
- **Impacts sur les bâtiments et les infrastructures :** dans cette catégorie figurent la hausse des coûts d'entretien et de protection, les coûts liés aux pertes totales ou au remplacement, et la perte d'actifs. Les chemins d'hiver (*voir les chapitres 3 et 7*), l'érosion côtière (*voir les chapitres 3, 4, 5 et 8*) et la dégradation du pergélisol (*voir les chapitres 3 et 5*) sont des préoccupations importantes au Canada.
- **Impacts sur la production, les prix et la demande de biens et de services :** ces impacts auront des coûts évidents tant au Canada que partout ailleurs dans le monde (*voir le chapitre 9*) et seront à la fois positifs et négatifs.

On ne dispose que de données limitées sur la sensibilité ou la vulnérabilité du secteur des services, qui domine maintenant l'économie du Canada. Toutefois, à court terme, il est probable qu'il soit moins sensible à un changement climatique lent ou modéré que celui des ressources renouvelables. Néanmoins, tous les secteurs risquent d'atteindre des seuils critiques au fur et à mesure de l'évolution du climat, ce qui déclencherait d'éventuelles rétroactions à long terme (Schneider, 2004) et des catastrophes qui s'avéreraient très coûteuses (Stern, 2006).

4.2 POPULATION ET PROFIL DÉMOGRAPHIQUE

État actuel

Le Canada compte 32,6 millions d'habitants, pour une densité de population de 3,5 personnes/km² (parmi les plus basses de la planète; Statistique Canada, 2007d). Ces chiffres ne sont toutefois pas représentatifs des régions de résidence de la plupart des Canadiens, car plus de la moitié de la population habite dans le corridor densément peuplé allant de Québec à Windsor.

Tendances et projections⁴

La population du Canada est passée de 24,3 millions d'habitants en 1981 à 32,6 millions en 2006 (Statistique Canada, 2006, 2007e). La croissance démographique a été caractérisée par deux grandes tendances : l'urbanisation et le vieillissement de la population, qui devraient toutes deux se poursuivre.

En 2001, près de 80 p. 100 de la population canadienne habitait dans des villes, et le nombre de citadins a crû d'environ 50 p. 100 depuis 1971. L'accroissement de la population urbaine est attribuable, d'une part, au choix fait par les nouveaux immigrants

de s'établir dans une ville et, d'autre part, à la migration de résidents des régions rurales vers la ville afin de tirer profit des occasions d'emploi. De plus, il existe un lien non seulement entre ces considérations démographiques et la croissance des secteurs secondaire et tertiaire, mais aussi avec le développement urbain comme tel. En 2001, c'est toujours en Ontario et au Québec que l'on trouvait la plus grande concentration de zones urbaines au Canada, mais l'Alberta et la Colombie-Britannique connaissent aussi actuellement une expansion fulgurante.

Il est couramment admis que les personnes âgées sont les plus vulnérables au changement climatique, en particulier sur le plan de la santé. La proportion de personnes âgées (65 ans et plus) au Canada a crû de 3 p. 100 entre 1981 et 2005 (passant de 10 à 13 p. 100), et tous les scénarios prévoient que cette augmentation se poursuivra jusqu'en 2056 (Statistique Canada, 2005). Dans les scénarios de croissance modérée, la proportion de personnes âgées devrait presque doubler d'ici 25 ans et, en 2056, la moitié de la population canadienne devrait avoir plus de 47 ans. La proportion de personnes plus âgées (80 ans et plus) connaîtrait aussi une croissance marquée. Le scénario de croissance modérée prévoit, par exemple, qu'environ un Canadien sur dix aura plus de 80 ans en 2056, comparativement à environ un sur trente en 2005. D'autres segments de la population sont jugés plus vulnérables au changement climatique, dont les enfants, les Autochtones, les personnes souffrant déjà de problèmes de santé et les démunis (Santé Canada, 2005).

La plupart des scénarios analysés par Statistique Canada prévoient que la population du Canada continuera de s'accroître jusqu'en 2056 (*voir la figure 6 et le tableau 8*). Dans le scénario de croissance modérée, la taille de la population canadienne augmenterait de 30 p. 100 d'ici 2056 et, dans le scénario de forte croissance, de 53 p. 100 pendant la même période. Dans le scénario de croissance faible, pour sa part, on projette une hausse de la population jusqu'en 2039, puis une baisse progressive jusqu'en 2056. Tous les scénarios

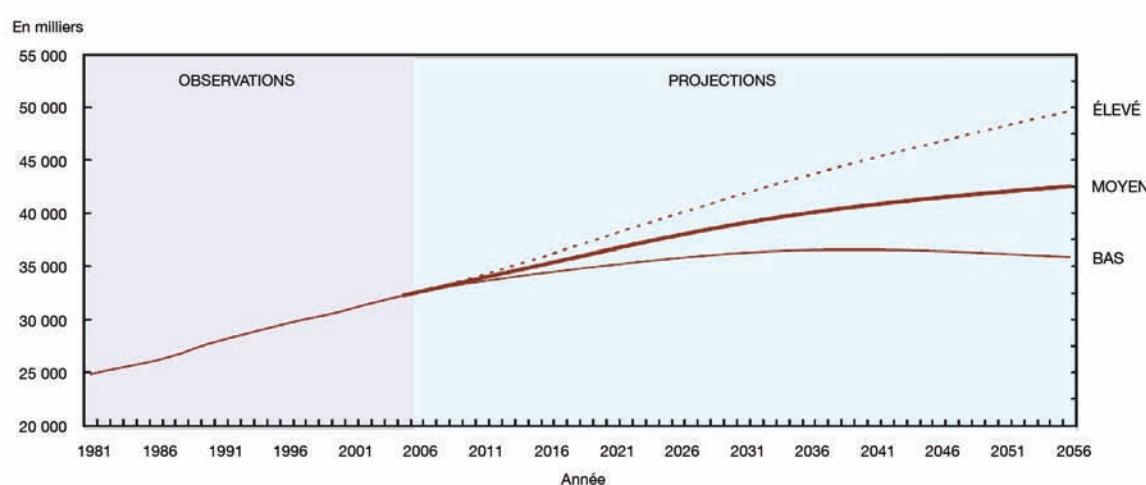


FIGURE 6 : Population constatée (1981 à 2005) et projetée (2006 à 2056) du Canada, selon trois scénarios (Statistique Canada, 2005).

⁴ De plus amples informations sur les projections présentées dans cette section peuvent être trouvées dans Statistique Canada (2005).

TABLEAU 8 : Projections de la population du Canada selon des scénarios de croissance faible, modérée et élevée jusqu'en 2031 et 2056 (*établies d'après Statistique Canada, 2005*).

Scénario	2031	2056
Croissance lente	36,3 millions	35,9 millions
Croissance moyenne	39 millions	42,5 millions
Croissance rapide	41,8 millions	49,7 millions

Population actuelle (2006) : 32,6 millions

analysés indiquent une croissance démographique naturelle négative à moyen ou à long terme et un seul facteur de croissance de la population canadienne : l'immigration.

La Colombie-Britannique est la province qui connaît le plus haut taux d'accroissement annuel moyen de la population, suivie de l'Ontario et de l'Alberta (*voir le tableau 9*). On prévoit que certaines provinces, soit la Saskatchewan et Terre-Neuve-et-Labrador, verront leur population baisser légèrement, tandis que les provinces plus peuplées de l'Ontario, de la Colombie-Britannique, de l'Alberta et du Québec afficheront de fortes croissances démographiques, principalement dans les grands centres urbains. Les chapitres à caractère régional du rapport traitent plus en détail des tendances provinciales et territoriales. Les résultats des projections sont entachés de plus d'incertitude aux échelles provinciale et territoriale qu'à l'échelle nationale en raison du phénomène de la migration interprovinciale, laquelle s'est avérée très fluctuante par le passé.

TABLEAU 9 : Projections de la croissance provinciale pour 2031 selon un scénario de croissance modérée et de tendances migratoires modérées (*établies d'après Statistique Canada, 2005*).

Province	Population (en milliers)		Moyenne du taux de croissance annuel (taux par millier)
	2005	2031	
Colombie-Britannique	4 254,5	5 502,9	9,9
Alberta	3 256,8	4 144,9	9,3
Saskatchewan	994,1	975,8	-0,7
Manitoba	1 177,6	1 355,7	5,4
Ontario	12 541,4	16 130,4	9,7
Québec	7 598,1	8 396,4	3,8
Terre-Neuve-et-Labrador	516,0	505,6	-0,8
Île-du-Prince-Édouard	138,1	149,5	3,1
Nouvelle-Écosse	937,9	979,4	1,7
Nouveau-Brunswick	752,0	767,2	0,8
Yukon	31,0	34,0	3,6
Territoires du Nord-Ouest	43,0	54,4	9,1
Nunavut	30,0	33,3	4,0

4.3 TENDANCES ET PROJECTIONS DU CLIMAT

Tendances constatées – températures et précipitations

Les effets du changement climatique de nature anthropique sur le Canada se dégagent clairement des tendances constatées et des températures (Zhang *et al.*, 2006), et ils agissent déjà sur les systèmes humain et naturel (*voir Gillett *et al.*, 2004*). Des observations sont recueillies dans le sud du Canada depuis plus d'une centaine d'années et dans d'autres parties du pays depuis le milieu du XX^e siècle. Ces données, et les données satellitaires des quelque 25 dernières années environ, dressent un tableau détaillé de la façon dont le climat du Canada et ses variables biophysiques ont changé au cours des dernières décennies. La présente section fournit un aperçu des changements constatés; pour une information plus détaillée, le lecteur peut consulter les ouvrages de Barrow *et al.* (2004) et de Hengeveld *et al.* (2005).

Au Canada, les températures se sont élevées en moyenne de plus de 1,3 °C depuis 1948 (*voir la figure 7*), soit à peu près le double de la moyenne mondiale. Au cours de cette période, la plus forte hausse des températures a été enregistrée au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest. Toutes les régions du pays ont connu un réchauffement ces dernières années (1966 à 2003; McBean *et al.*, 2005), y compris l'est de l'Arctique, où la tendance au refroidissement s'est inversée et où l'on note depuis le début des années 1990 une tendance au réchauffement (Huntington *et al.*, 2005a; Nickels *et al.*, 2006).

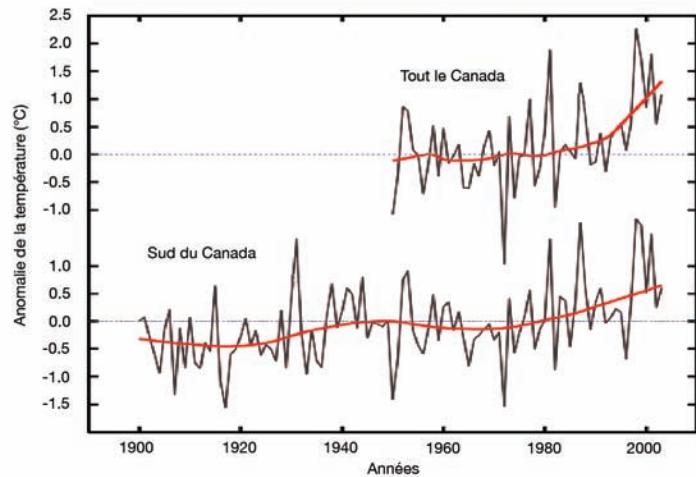


FIGURE 7 : Anomalie de la température annuelle au niveau national et tendances à long-terme, 1948 à 2006 (Environnement Canada, 2006).

Sur une base saisonnière (*voir la figure 8*), les hausses de température ont été plus grandes et plus variables dans l'espace pendant l'hiver et le printemps. Le nord-ouest du Canada a connu une hausse de plus de 3 °C des températures hivernales entre 1948 et 2003. Pendant la même période, des tendances au refroidissement en hiver et au printemps (jusqu'à -2,5 °C) ont été constatées dans des régions de l'est de l'Arctique. Pendant l'été, le réchauffement a été à la fois moins élevé et plus uniforme dans

l'espace, contrairement au réchauffement de l'automne, qui s'est principalement manifesté dans des régions de l'Arctique et en Colombie-Britannique (*voir la figure 8*).

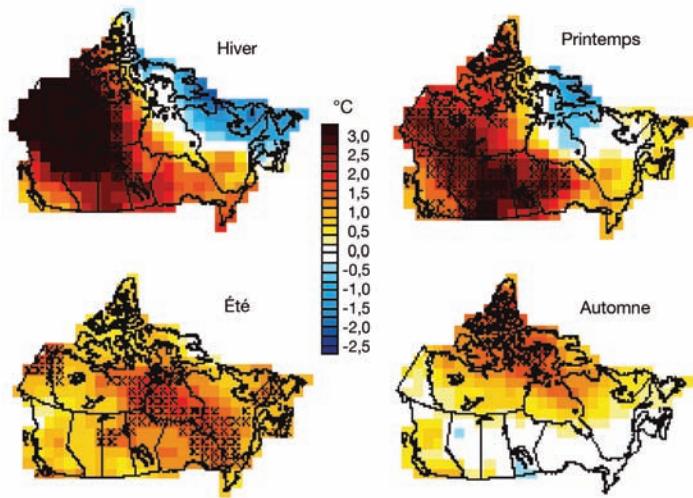


FIGURE 8 : Répartition régionale des tendances linéaires des températures (en °C) constatées au Canada entre 1948 et 2003, par saison. Les symboles « X » désignent des régions où les tendances sont statistiquement significatives. Source : Hengeveld *et al.* (2005).

En ce qui concerne les précipitations, les tendances nationales (*voir la figure 9*) sont plus difficiles à évaluer, principalement à cause de leur nature discontinue et de leurs divers états (pluie, neige et pluie verglaçante). Néanmoins, le Canada a connu en moyenne du temps plus humide au cours des 50 dernières années, enregistrant une augmentation d'environ 12 p. 100 des précipitations à travers tout le pays (Environnement Canada, 2003).

Les changements du régime de précipitations ont également varié d'une région et d'une saison à l'autre (*voir les figures 10 et 11*) depuis 1950. En moyenne sur l'année, c'est dans l'Extrême-Arctique que l'on a enregistré le pourcentage d'augmentation des

précipitations le plus important, tandis que, dans les régions du sud du Canada (en particulier dans les Prairies), on a constaté peu de changement, voire une baisse (*voir la figure 10*). Dans la majeure partie du Nunavut, par exemple, les précipitations annuelles ont crû de 25 p. 100 à 45 p. 100 et, dans le sud du Canada, la hausse moyenne a été de 5 p. 100 à 35 p. 100 (Environnement Canada, 2003).



FIGURE 10 : Répartition régionale des tendances linéaires des précipitations annuelles (en % de changement) constatées au Canada entre 1948 et 2003. Les symboles « X » désignent les régions où les tendances sont statistiquement significatives. Source : Zhang *et al.* (2000), dernière modification faite en 2005.

Depuis 1950, les tendances saisonnières révèlent que, dans la majeure partie de l'Arctique, pendant les quatre saisons, le temps a été plus humide. Les précipitations se sont également accrues de manière significative dans certaines régions du sud de la Colombie-Britannique et du sud-est du Canada au printemps et à l'automne. En revanche, dans le sud du Canada, à l'exception de la partie occidentale du sud de l'Ontario, où plus de neige d'effet de lac (*voir le chapitre 6*) est tombée, les précipitations hivernales ont baissé de façon significative.

De 1950 à 2003, on a également constaté au Canada des changements de la fréquence des épisodes de températures et de précipitations extrêmes, à savoir (*tiré de Vincent et Mekis, 2006*) :

- moins de nuits de temps froid extrême,
- moins de jours de temps froid extrême,
- moins de jours avec gel,
- plus de nuits de chaleur extrême,
- plus de jours de chaleur extrême,
- plus de jours avec précipitations,
- baisse de la hauteur moyenne des précipitations quotidiennes,
- baisse du nombre maximum de jours consécutifs de temps sec,
- baisse de l'accumulation totale annuelle de neige (dans le sud du Canada),
- hausse de l'accumulation totale annuelle de neige (dans le nord et le nord-est du Canada).

Ces changements ont été accompagnés d'une diminution considérable du nombre de degrés-jours de chauffage. D'autres changements importants ont également été constatés à l'échelle régionale par rapport au nombre d'épisodes de précipitations intenses. En moyenne, la fraction des précipitations tombées sous la

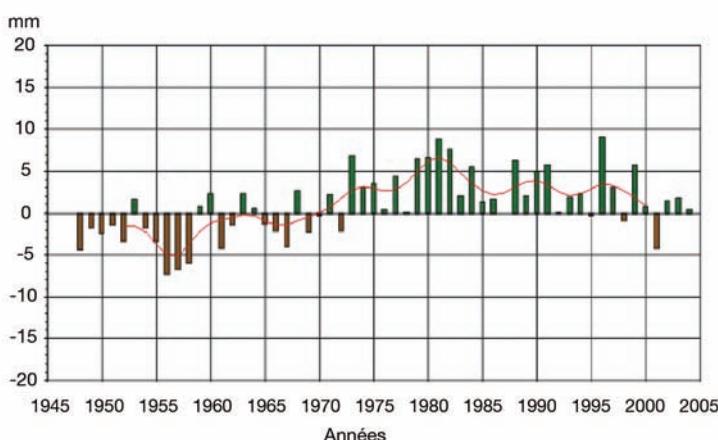


FIGURE 9 : Tendances des anomalies annuelles des précipitations moyennes au Canada, par rapport aux normales de 1951 à 1980, et à moyenne continue pondérée. Source : Environnement Canada.

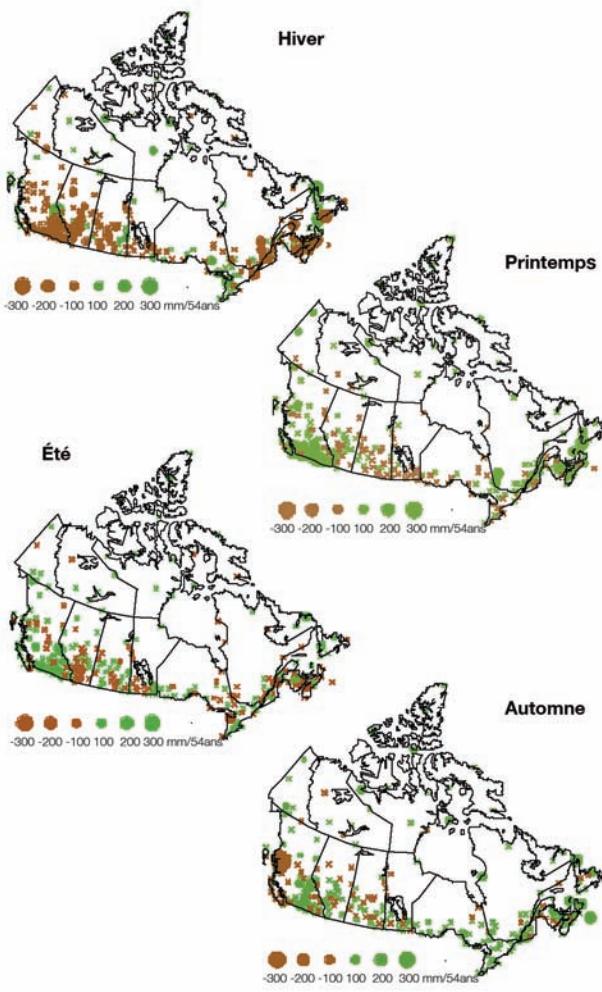


FIGURE 11 : Changements des régimes de précipitations depuis 1950, par saison. Les données, qui représentent le changement total au cours des 54 années entières de données, sont exprimées en mm. L'ordre de grandeur des changements est représenté par la taille du cercle, où la couleur verte indique une hausse et la couleur brune, une baisse. Les « X » désignent les régions où les données ne sont pas statistiquement significatives. Source : Environnement Canada.

forme d'un épisode intense (dans la fourchette supérieure des 10 p. 100) a diminué dans le sud du Canada et augmenté dans le nord du Canada, en particulier dans le nord-est. En outre, plus de précipitations tombent sous forme de pluie que de neige.

Autres changements constatés

Les changements survenus dans les températures et les précipitations depuis 50 à 100 ans ont eu des effets sur d'autres variables, dont la glace de mer, la couverture de neige, le pergélisol, l'évaporation et le niveau marin. Dans les chapitres à caractère régional du rapport, on examine en détail ces changements ainsi que leurs implications sur l'environnement, l'économie et la société. La présente section ne fait que souligner les principales observations.

La cryosphère a réagi au réchauffement constaté. À titre d'exemple, vers la fin de l'été, l'étendue de la glace de mer dans l'Arctique a diminué de 8 p. 100 par décennie depuis 1950 (voir la figure 12). Au cours de la même période, la durée de la couverture de neige a baissé de 20 jours en moyenne dans l'Arctique (voir la figure 13). Toutefois, l'accumulation totale de neige par année a été plus importante dans certaines régions de l'Arctique (Taylor *et al.*, 2006), parce que des températures plus élevées font augmenter l'humidité

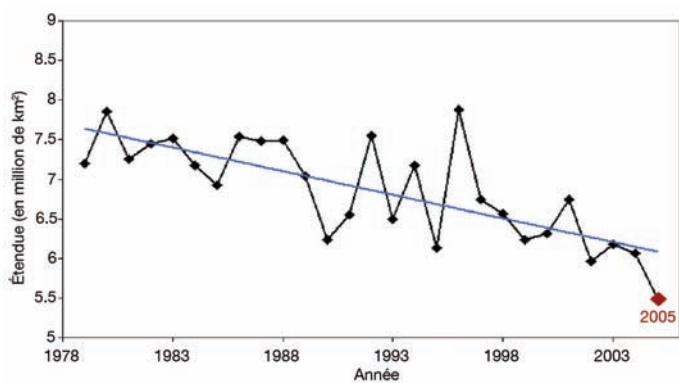


FIGURE 12 : Tendances de l'extension minimale (septembre) de la glace de mer dans l'Arctique de 1978 à 2005, selon les données satellites de la NASA. La ligne droite de couleur bleue indique la tendance de 1979 à 2005, qui montre actuellement une baisse de plus de 8 p. 100. Source : National Snow and Ice Data Center (2005).

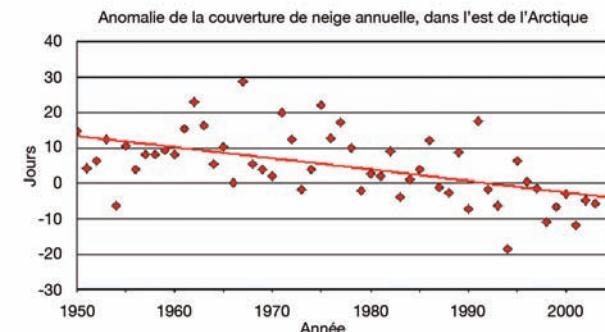
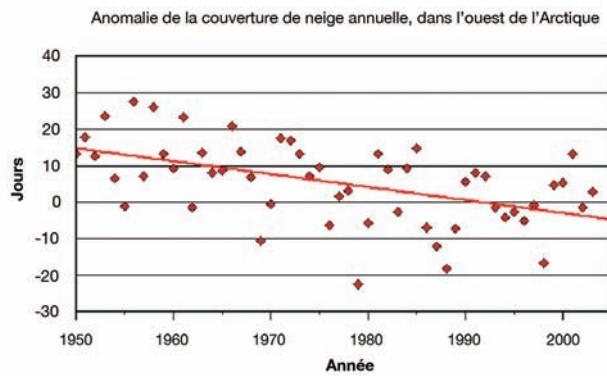


FIGURE 13 : Tendances de la durée de la couverture de glace dans l'Arctique canadien, mesurées en termes de jours, par rapport à 1990. Source : Ross Brown, Environnement Canada, communication personnelle, 2007.

et, donc, les précipitations. Pendant les années 1990, l'épaisseur de la couche active s'est accrue de façon générale dans les régions de pergélisol du Canada (p. ex., Brown *et al.*, 2000; Nixon *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2005). La température du pergélisol peu profond a monté de 0,3 °C à 0,5 °C par décennie dans les 20 à 30 dernières années du XX^e siècle dans l'Extrême-Arctique canadien (Taylor *et al.*, 2006), tandis que, dans l'ouest de l'Arctique, les températures ont connu une variation nulle à proche de 1 °C par décennie (Smith *et al.*, 2005).

La diminution récente du volume d'eau de fonte des glaciers dans l'ouest du Canada (Demuth *et al.*, 2002) ainsi que les changements du régime des précipitations et la hausse de l'évaporation dans d'autres régions (liée à l'élévation des températures) ont eu des effets sur les ressources hydriques dans la majeure partie du Canada (Shabbar et Skinner, 2004). Les taux d'évapotranspiration réelle (ÉTR) sont en moyenne plus élevés dans l'ensemble des régions du pays depuis 40 ans (*voir la tableau 10*), quoique la tendance soit faible ou non uniforme dans certaines régions (Fernandes *et al.*, 2007) en raison du peu d'eau qui puisse s'évaporer. À titre d'exemple, les taux d'évapotranspiration ont légèrement baissé dans les régions sèches des Prairies, où l'eau (évaporable) se fait déjà rare pendant une bonne partie de l'année (Huntington, 2006; Fernandes *et al.*, 2007). Bon nombre de régions du pays pourraient connaître une augmentation des précipitations (*voir la figure 14*), mais elle ne sera pas suffisante pour contrebalancer la hausse de l'ÉTR due au réchauffement. Dans la région des Grands Lacs, par exemple, une hausse de 1 °C de la température annuelle moyenne serait accompagnée d'une augmentation de 7 p. 100 à 8 p. 100 de l'évaporation réelle (*voir Fernandes *et al.*, 2007*), ce qui réduirait la disponibilité de l'eau.

TABLEAU 10 : Tendances et changements dans les taux annuels d'évapotranspiration réelle recueillis depuis 40 ans, par zone climatique du Canada (Fernandes *et al.*, 2007).

Région	Tendances de l'ÉT	Changement de l'ÉT
	mm/an	mm au cours de 40 ans
Côte du pacifique	1,16	46,40
Sud de la Colombie-Britannique	1,24	49,68
Yukon	0,06	2,24
Prairies	0,03	1,12
Mackenzie	0,24	9,80
Forêt du nord-ouest	0,22	8,80
Nord -est	0,75	30,00
Grands lacs	0,69	27,56
Atlantique	1,04	41,48
Toundra	0,16	6,48

Les niveaux d'eau dans les lacs de tout le Canada ont considérablement varié avec le temps et les récentes tendances à la baisse des niveaux dans la partie supérieure des Grands Lacs en raison de l'élévation des températures sont très impressionnantes (Mortsch *et al.*, 2006). On prévoit que les niveaux d'eau dans les Grands Lacs continueront à baisser dans l'avenir (*voir la figure 15*; *voir également le chapitre 6*; Moulton et Cuthbert, 2000; Mortsch *et al.*, 2006).

Au cours du siècle dernier, le niveau mondial des océans s'est élevé d'environ 0,17 m (plage de 0,12 m à 0,22 m; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). L'ampleur de l'élévation du niveau marin relatif le long des côtes canadiennes variera selon que la côte connaîtra un relèvement (glacio-isostatique) ou une subsidence de la croûte terrestre après la déglaciation survenue il y a des milliers d'années. Dans certaines parties du Canada, comme autour de la baie d'Hudson par exemple, les terres ont continué d'émerger malgré l'élévation mondiale du niveau des mers. Cependant, dans d'autres régions, dont la plus grande partie du littoral atlantique, la subsidence des terres est deux fois plus importante que l'élévation du niveau de la mer à certains endroits (McCulloch *et al.*, 2002). Ainsi, à Charlottetown, le niveau relatif de la mer s'est élevé de 0,32 m au cours du XX^e siècle (Forbes *et al.*, 2004). Sur la côte ouest, la hausse relative du niveau marin a été plus faible, soit de 4 cm à Vancouver, 8 cm à Victoria, 12 cm à

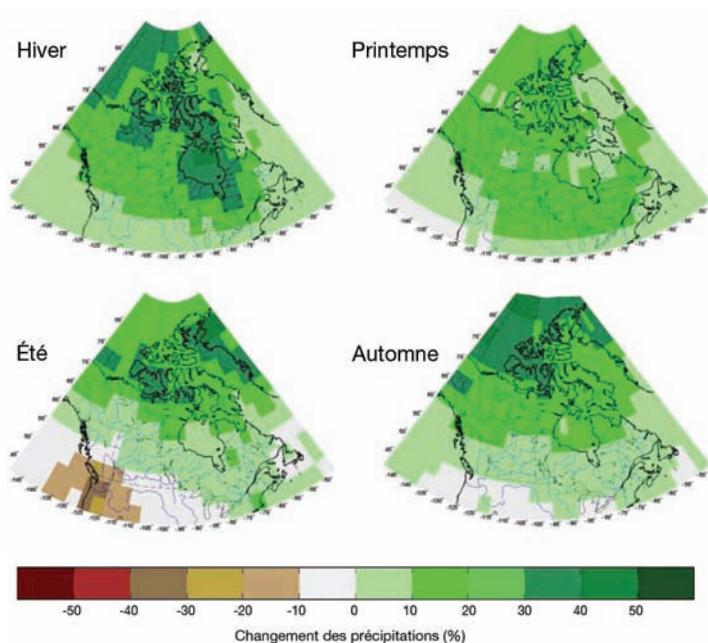


FIGURE 14 : Changement saisonnier des précipitations d'ici les années 2050 (par rapport à la période de 1961 à 1990), fondé sur la médiane de sept modèles de circulation générale et utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

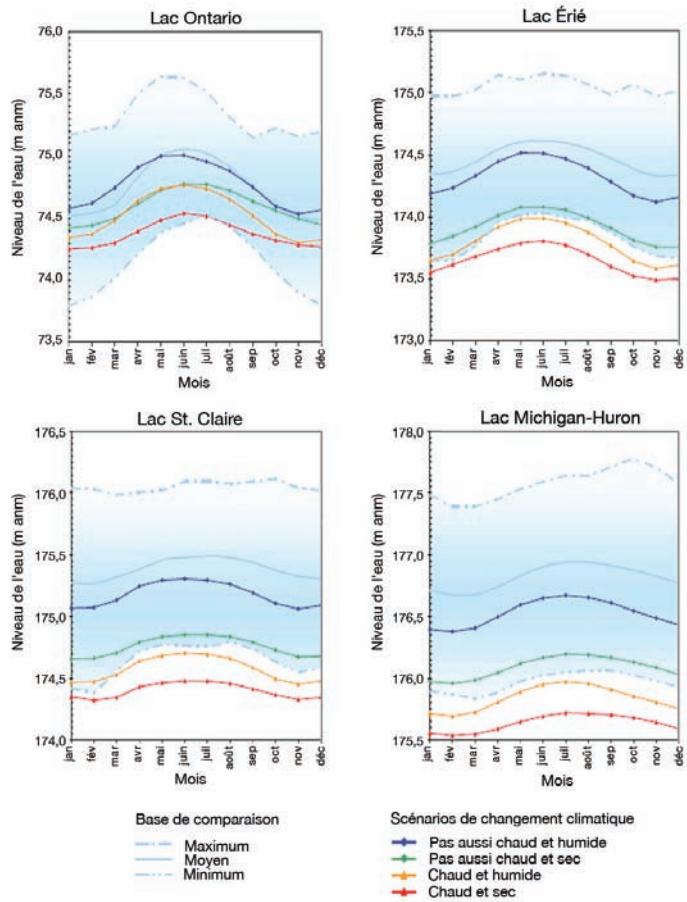


FIGURE 15 : Changements prévus des niveaux d'eau dans les Grands Lacs (Mortsch *et al.*, 2006).

Prince Rupert et le niveau a baissé de 13 cm à Tofino pendant la même période de temps (British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002). Dans le nord, la côte du Yukon et celle des Territoires du Nord-Ouest qui lui est adjacente s'affaissant, l'élévation relative du niveau de la mer y est donc plus marquée que le long d'une bonne partie de la côte de l'Arctique.

Projections — températures et précipitations⁵

Selon les projections, l'ensemble du Canada, sauf peut-être la région extracôtière de l'Atlantique, devrait se réchauffer au cours des 80 prochaines années. Les changements du climat, pour la plupart, seront une poursuite des régimes et, fréquemment, une accélération des tendances mentionnées ci-dessus. L'ampleur du réchauffement ne sera donc pas uniforme à l'échelle du pays (*voir la figure 16*). Au cours du présent siècle, c'est dans l'Extrême-Arctique que les hausses de températures seront les plus importantes et, dans les régions du centre du pays, elles seront plus marquées que sur les côtes est et ouest (*voir la figure 16*). La figure 17 illustre également

les différences régionales dans les projections des températures ainsi que le changement historique et projeté des températures pour six villes du Canada.

Sur une base saisonnière, le réchauffement devrait être plus marqué pendant l'hiver (*voir la figure 16*) en partie à cause de la rétroaction d'une réduction de la couverture de neige et de glace sur l'albédo de la surface des terres. D'ici les années 2050, on s'attend à ce que le réchauffement en hiver soit plus prononcé dans les régions de la baie d'Hudson et de l'Extrême-Arctique, et moins marqué dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique et dans le sud de la région de l'Atlantique. Une baisse de l'amplitude thermique de jour en hiver dans tout le pays indique que le réchauffement sera sans doute plus important la nuit que le jour (Barrow *et al.*, 2004). Cette tendance n'a pas été relevée pour les autres saisons. De plus, selon les projections des modèles, le réchauffement sera plus faible pendant l'été et l'automne, et l'élévation de la température au cours de l'été sera plus uniforme à l'échelle du pays, ce qui est conforme aux tendances constatées dont il était question précédemment.

La fréquence des températures extrêmement élevées (dépassant 30 °C) pendant l'été devrait s'accroître dans toutes les régions du Canada (*voir la figure 18*; Kharin *et al.*, 2007). On prévoit également que les vagues de chaleur seront plus intenses et plus fréquentes. Plusieurs chapitres à caractère régional (p. ex., les chapitres 5, 6 et 7)

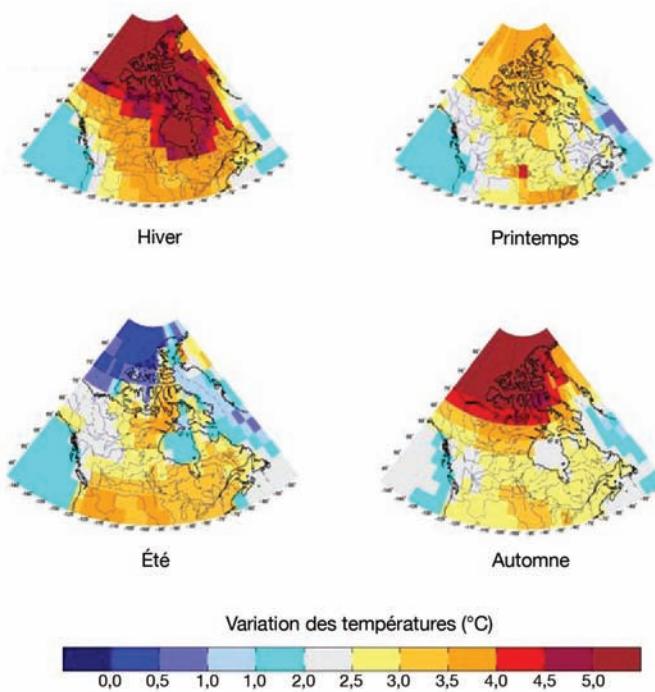


FIGURE 16 : Variation saisonnière de la température au Canada d'ici 2050 (par rapport à la période de 1961 à 1990) fondée sur la médiane de sept modèles de circulation générale et utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

⁵Une grande partie des informations présentées ici sont extraites du rapport de Barrow *et al.* (2004) intitulé *Climate Variability and Change in Canada : Past, Present and Future*.

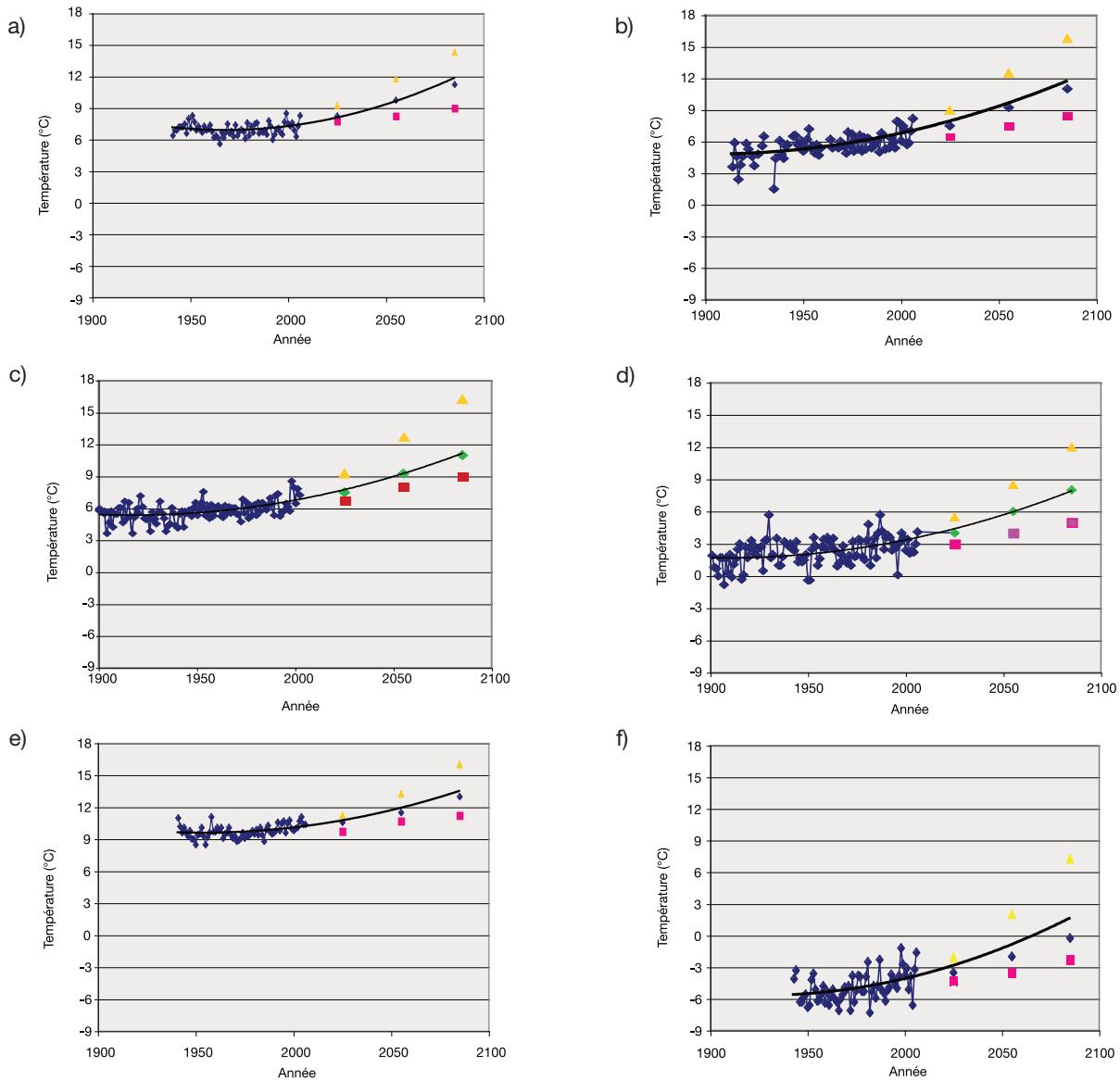


FIGURE 17 : Tendances historiques (losange bleu) et moyennes annuelles élevées (triangle jaune), moyennes (losange vert) et faibles (carré rose) des températures pour les années 2020, 2050 et 2080, pour six villes canadiennes : a) Yarmouth, en Nouvelle-Écosse; b) Drummondville, au Québec; c) Ottawa, en Ontario; d) Regina, en Saskatchewan; e) Victoria, en Colombie-Britannique; et f) Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest. Il est à remarquer que les données historiques présentées ici sont limitées en raison du peu de données disponibles, et les variations projetées proviennent d'un éventail de modèles de circulation générale utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

abordent la question des impacts sur la santé des épisodes de chaleur accablante ainsi que de l'adoption de mesures d'adaptation efficaces pour y faire face. Les modèles projettent en même temps une baisse importante des jours de froid extrême (Kharin *et al.*, 2007), ce qui entraînera une diminution globale de l'indice de rigueur du climat (Barrow *et al.*, 2004).

Il est plus difficile d'établir des projections de précipitations dans l'avenir, les changements à cet égard étant moins statistiquement significatifs que pour les températures (Barrow *et al.*, 2004). C'est pourquoi les résultats des modèles présentent une plage plus grande pour les projections des précipitations (*voir* la figure 19). Les précipitations totales annuelles devraient augmenter dans toutes les régions du pays au cours du présent siècle. Un gradient sud-nord est

évident d'ici les années 2080, avec une augmentation des précipitations allant de 0 à 10 p. 100 dans l'extrême sud et jusqu'à 40 à 50 p. 100 dans l'Extrême-Arctique. Cependant, du fait de l'évaporation accrue induite par des températures plus élevées, de nombreuses régions connaîtront un déficit d'humidité en dépit de l'accroissement des précipitations.

Les changements saisonniers des précipitations auront généralement des répercussions plus grandes, à l'échelle régionale, que les totaux annuels. Dans la majeure partie du sud du Canada, les augmentations projetées sont faibles (0 à 10 p. 100 d'ici les années 2050) pendant l'été et l'automne. Dans certaines régions, surtout dans le centre-sud des Prairies et dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, on prévoit même que les précipitations diminueront

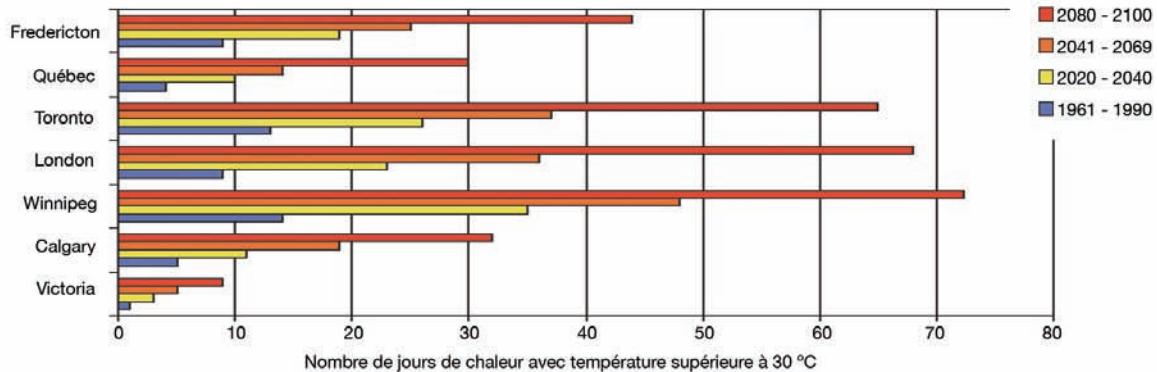


FIGURE 18 : Nombre de jours avec des températures supérieures à 30 °C, pendant les périodes d'observation (1961 à 1990) et les périodes futures (2020 à 2040; 2041 à 2069; et 2080 à 2100; Hengeveld *et al.*, 2005).

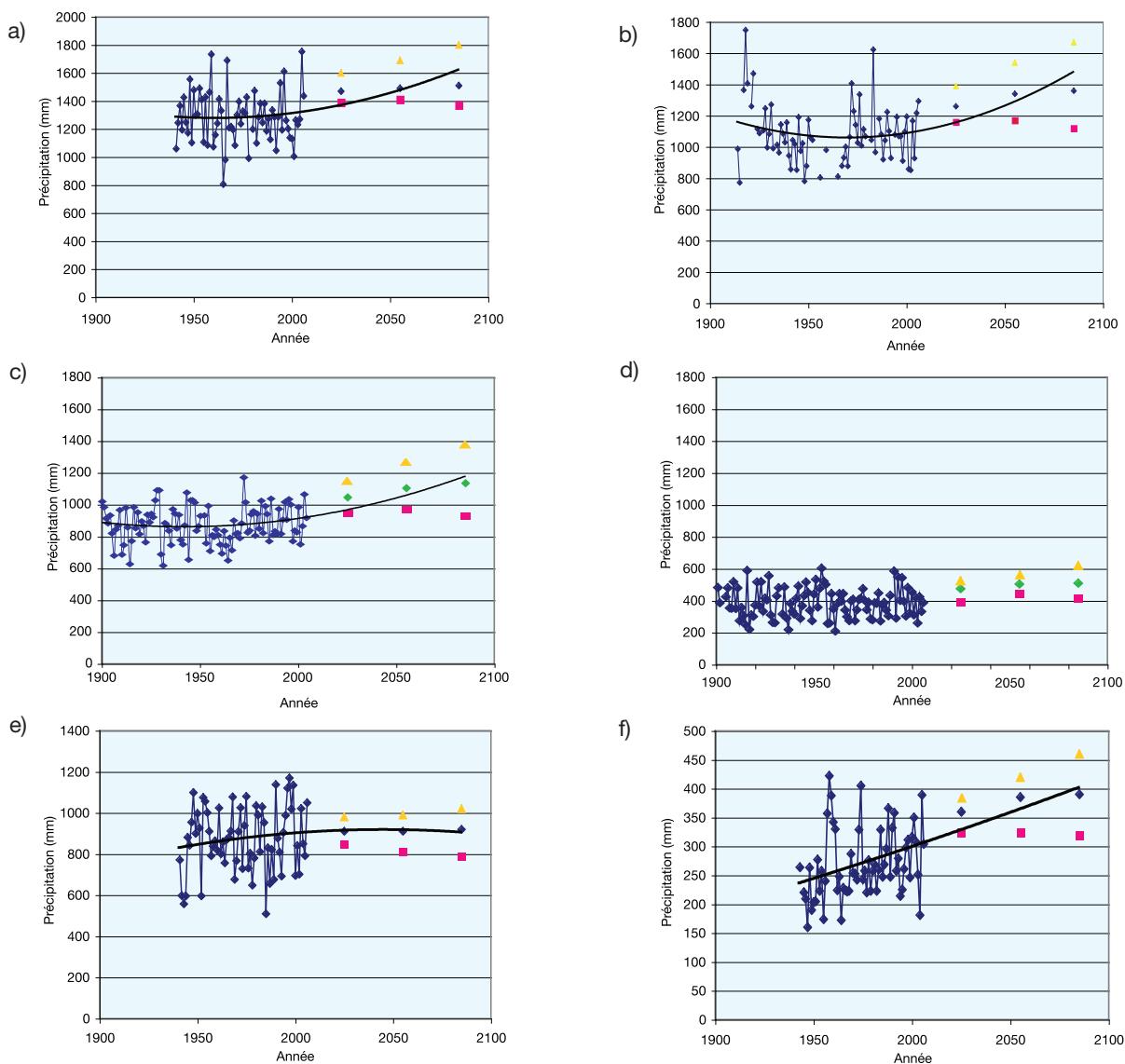


FIGURE 19 : Tendances historiques (losange bleu) et totaux annuels élevées (triangle jaune), moyennes (losange vert) et faibles (carré rose) des précipitations pour les années 2020, 2050 et 2080, pour six villes canadiennes : a) Yarmouth, en Nouvelle-Écosse; b) Drummondville, au Québec; c) Ottawa, en Ontario; d) Regina, en Saskatchewan; e) Victoria, en Colombie-Britannique; et f) Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest. Il est à remarquer que les données historiques présentées ici sont limitées en raison du peu de données disponibles et les variations projetées proviennent d'un éventail de modèles de circulation générale utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

pendant l'été (*voir* la figure 14). Il y aura donc moins d'eau disponible pendant la saison de croissance dans de grandes régions agricoles. Parmi les autres changements importants relatifs aux précipitations figurent l'augmentation de la proportion de précipitations tombant sous forme de pluie plutôt que de neige, et une augmentation des épisodes de précipitations quotidiennes extrêmes (*voir* la figure 20; Kharin et Zwiers, 2000).

Autres changements projetés

L'élévation du niveau de la mer se poursuivra au cours du présent siècle, avec des projections mondiales de 0,18 m à 0,59 m d'ici 2100 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Les changements du niveau marin relatif au Canada demeureront semblables aux régimes constatés pendant le XX^e siècle. Ainsi, dans les régions qui connaissent un relèvement de la croûte terrestre (p. ex., la baie d'Hudson, des portions de la

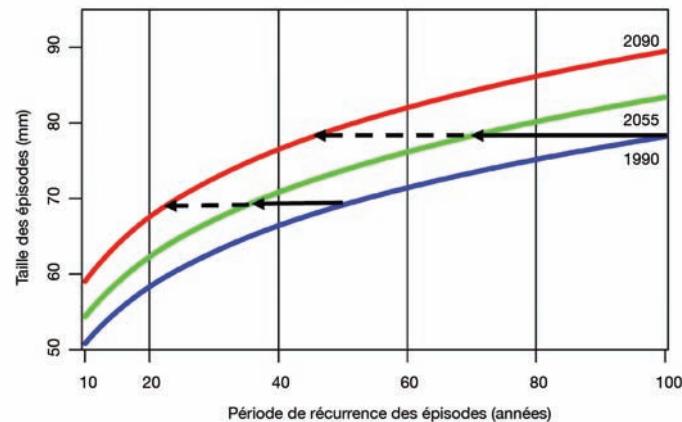


FIGURE 20 : Changements projetés des épisodes de précipitations extrêmes sur 24 heures, en Amérique du Nord, entre les latitudes 25° Nord et 65° Nord (d'après Kharin et Zwiers, 2000).

Source : Environnement Canada.

côte de la Colombie-Britannique et la côte du Labrador), les impacts de l'élévation seront généralement moins marqués que dans les régions qui sont présentement sujettes à la subsidence (p. ex., la côte de la mer de Beaufort, la majeure partie de la côte Atlantique et le delta du Fraser). Les effets de l'élévation du niveau marin sur les collectivités et les activités côtières, comme le transport de marchandises et le tourisme, sont présentés plus en détail dans les chapitres 3, 4, 5 et 8.

L'élévation du niveau de la mer s'accompagne d'une augmentation du risque d'inondations causées par des ondes de tempête. Ce type d'inondation sera donc plus fréquent dans l'avenir, en particulier dans les régions déjà plus touchées. À Charlottetown, par exemple, les inondations causées par des ondes de tempête, qui sont survenues à six reprises entre 1911 et 1998, risquent de se produire tous les ans d'ici 2100 si aucune mesure d'adaptation significative n'est adoptée pour protéger la ville (McCulloch *et al.*, 2002).

On ne peut établir de relation simple et directe entre la glace de mer et la température du fait que des interactions complexes, associées à des changements des régimes de circulation atmosphérique et océanique (p. ex., les oscillations arctique et nord-atlantique), ont une incidence considérable sur les régimes de la glace de mer (Barrow *et al.*, 2004). La réduction de l'étendue de la glace de mer continuera donc de varier aux échelles locale et régionale, comme elle l'a fait au cours du dernier siècle (Barrow *et al.*, 2004). On prévoit, toutefois, que l'étendue des glaces dans l'Arctique diminuera pendant le XXI^e siècle et que la perte de glace sera plus grande en été qu'en hiver (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a; Anisimov *et al.*, 2007). Bien que les estimations de la réduction varient d'un modèle de climat à l'autre (*voir* le chapitre 3), plusieurs scénarios indiquent que de grandes portions de l'océan Arctique seront de façon saisonnière libres de glace d'ici la fin du XXI^e siècle (Solomon *et al.*, 2007).

L'élévation du niveau de la mer, les tempêtes ainsi que la diminution de l'étendue des glaces de mer contribuent à faire croître l'érosion côtière (*voir* les chapitres 3 et 4; Manson *et al.*, 2005). Dans les régions nordiques, la fonte du pergélisol va rendre les côtes plus vulnérables à l'érosion.

4.4 CONCLUSIONS

Le climat du Canada est en train de changer et les projections indiquent que cet état de choses va se poursuivre. Outre les changements progressifs des températures et des précipitations, on a constaté et projeté des changements des températures et des précipitations extrêmes, de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête, de l'étendue de la glace de mer et de nombreux autres paramètres de nature climatique ou liés au climat. Ces changements continueront de se produire dans un contexte socio-économique lui-même en évolution et susceptible d'avoir une incidence considérable sur les impacts nets. Les différences régionales du climat projeté, de la sensibilité et des facteurs régissant la capacité d'adaptation (p. ex., l'accès à des ressources économiques, le profil démographique) font que la variabilité varie de façon considérable à la grandeur du pays, à la fois à l'intérieur d'une région et d'une région à l'autre. Les chapitres à caractère régional du présent rapport mettent ces différences en évidence.

5

APPROCHES UTILISÉES DANS L'ÉVALUATION

5.1 SYNTHÈSE

La présente évaluation est une analyse critique de l'ensemble des connaissances actuelles sur les risques et les possibilités que le changement climatique représente pour le Canada. Il a fallu prendre en considération les tendances historiques du climat, les changements prévus du climat, la sensibilité des principaux systèmes face au climat, de même que la capacité d'adaptation actuelle et à venir. De nouvelles études et recherches n'ont pas été entreprises aux fins de la présente évaluation.

On a demandé aux auteurs de se servir de trois principales sources :

- 1) **Documentation publiée, évaluée par des pairs** : ce type de documentation a été la plus importante source de matériel pour l'évaluation. Il existe, en effet, une documentation importante, et qui continue de croître, axée sur le changement climatique au Canada, ainsi que des ouvrages étrangers qui aident à comprendre la vulnérabilité du Canada face à ce changement. En outre, les revues d'autres domaines regorgent d'informations évaluées par des pairs qui sont utiles aux études sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation. Les auteurs ont donc été encouragés à puiser des renseignements dans d'autres milieux de recherche, notamment les domaines des catastrophes naturelles, de la gestion de l'utilisation des terres, de l'économie politique et de la planification.
- 2) **Documentation dite « grise »** : ce type de documentation, incluant des rapports gouvernementaux, des documents sans examen par des pairs qui ont paru dans diverses publications, des rapports d'atelier et des rapports de consultants, a aussi été utilisé comme matériel de référence. Ces sources aident grandement à comprendre le concept de la vulnérabilité face au changement climatique et sont souvent la seule façon d'avoir accès aux informations les plus récentes qui soient pertinentes à l'échelle locale. Les auteurs ont eux-mêmes évalué la qualité et la pertinence de ce type de documentation à la lumière de leur jugement.
- 3) **Connaissances locales et connaissances des spécialistes** : la présente évaluation reconnaît que les connaissances locales, souvent obtenues par l'entremise de spécialistes, complètent celles que l'on a trouvées dans des sources scientifiques. En raison de la nature appliquée et locale de beaucoup de mesures d'adaptation, les expériences directes sont rarement présentes dans la documentation scientifique. C'est pourquoi ce rapport cite occasionnellement des communications personnelles dans le but de bien décrire et d'attribuer ces connaissances.

Tel que mentionné au chapitre 1, l'information scientifique présentée dans la présente évaluation inclut le savoir traditionnel (autochtone), bien représenté dans les trois sources de matériel décrites ci-dessus. La documentation incluse dans chaque chapitre reflète largement l'éventail de renseignements disponibles dans les sources présentées plus haut. La quantité de matériel disponible sur un sujet particulier, par contre, ne témoigne pas nécessairement de

son importance relative aux échelles régionale ou nationale. En effet, on ne dispose que de très peu d'informations sur certains aspects importants des impacts et de l'adaptation, tels que l'analyse économique. De ce fait, l'évaluation de l'importance du savoir disponible traduit le jugement d'expert des auteurs principaux et des collaborateurs de chaque chapitre, selon leur domaine de spécialisation. On a également demandé aux auteurs d'identifier les principales lacunes sur le plan des connaissances. Les équipes de rédacteurs ont reçu des documents d'orientation générale sur la portée, les buts et les concepts importants, mais ce sont les auteurs qui ont décidé de la meilleure présentation à adopter pour chaque région. Des experts en science et en politique du milieu universitaire et du gouvernement ont évalué le rapport afin d'aider à orienter sa version finale.

5.2 PROBABILITÉ ET CONFIANCE

L'incertitude fait partie intégrante des analyses sur le changement climatique. Bien qu'il soit possible d'identifier les principales sources d'incertitudes (p. ex., dans les prévisions de changement climatique), on peut rarement les quantifier totalement. Cette situation s'applique particulièrement dans le cas des études sur les impacts et l'adaptation, qui comprennent habituellement de multiples étapes, chacune introduisant des incertitudes tout au long de l'étude (c'est-à-dire une cascade d'incertitudes). Les incertitudes liées aux facteurs socio-économiques, celles-là mêmes qui ont une incidence à la fois sur l'évolution des émissions et sur la capacité d'adaptation, sont particulièrement difficiles à évaluer (Manning *et al.*, 2004). Il est donc plus compliqué d'arriver à des conclusions solides sur la probabilité qu'un résultat se réalise ou a déterminer le degré de confiance qui devrait être associé à un énoncé déterminé.

De nombreuses évaluations scientifiques, dont l'*Arctic Climate Impact Assessment* (Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique) et celles réalisées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, adoptent une terminologie fondée sur la possibilité pour exprimer la probabilité ou la confiance. L'attribution d'un terme particulier (p. ex., probable, très probable) est basée sur une évaluation d'expert de la quantité et de la concordance de la documentation scientifique, se fondant sur de nombreux types d'indications, dont les tendances constatées, des expériences, des simulations de modèles et des théories (Huntington *et al.*, 2005b).

Aux fins de la présente évaluation, il n'a pas été jugé pratique ou utile d'employer une terminologie fondée sur la probabilité. Lorsque des analyses sont entreprises à l'échelle régionale ou sous-régionale, la quantité généralement petite de renseignements disponibles sur un sujet spécifique fait que les énoncés de probabilité et de confiance refléteront principalement des jugements d'expert, et seront donc nécessairement qualitatifs. Les auteurs ont été encouragés à communiquer la probabilité et la confiance de leurs conclusions en utilisant un langage commun plutôt que des expressions prescrites. En général, ils ont été capables d'exprimer

une plus grande confiance lorsque la quantité et la qualité des recherches disponibles sur le sujet étaient élevées. L'expression de la probabilité était la plus forte lorsque les projections concordaient avec les tendances historiques et/ou avec des relations bien établies du système climatique et qu'elle était appuyée par des analyses de modèles indépendantes.

5.3 UTILISATION DES SCÉNARIOS

Scénarios climatiques

En ce qui concerne le changement climatique à venir, l'évaluation ne met pas l'accent sur un scénario climatique ou un ensemble de scénarios en particulier. Comme elle intègre et analyse des études ayant des approches différentes de la question des scénarios climatiques et de leurs hypothèses, l'évaluation tente de placer les résultats de ces études dans le contexte d'une gamme complète de futurs climatiques vraisemblables.

Chaque chapitre à caractère régional comprend une section décrivant le changement climatique projeté pour la région et issu d'expériences sur le changement effectuées à l'aide de sept modèles de circulation générale (MCG), en ayant recours à un scénario d'illustration tiré des six groupes de scénarios d'émissions identifiés dans le rapport spécial du GIEC intitulé *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES). Ces scénarios, qui étaient les plus récents dont on disposait au début du processus de la présente évaluation, soit en 2005, ont été élaborés à partir des recommandations de l'Équipe spéciale chargée par le GIEC de la gestion des données et des scénarios servant à l'évaluation du climat et de ses incidences. Les modèles climatiques sélectionnés sont conformes aux

recommandations de ce groupe, et les scénarios établissent les changements du climat (par rapport à la période de référence de 1961 à 1990) pour les années 2020, 2050 et 2080, soit les trois périodes d'étude recommandées. Les auteurs de chaque chapitre ont reçu les résultats des scénarios sous forme de diagrammes de dispersion, de cartes et de tracés en rectangle et moustaches (voir l'annexe 1). Ils ont eux-mêmes décidé quels formats de graphique apparaîtraient dans leur chapitre. Certains chapitres présentent des informations additionnelles provenant de scénarios climatiques. Dans ce cas, les modèles et les scénarios d'émissions utilisés sont clairement indiqués.

Scénarios socio-économiques

Il n'existe pas de scénarios socioéconomiques à long terme utiles se prêtant aux études sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation pour toutes les régions du Canada. Les auteurs de chaque chapitre ont donc été encouragés à employer toutes les données pertinentes disponibles. Statistique Canada offre des données exhaustives sur les tendances démographiques et socio-économiques historiques à diverses échelles (p. ex., nationale, provinciale, région métropolitaine de recensement). L'exode rural, les changements de la répartition selon l'âge ainsi que les tendances du niveau de revenu et du produit intérieur brut sont des exemples de tendances pertinentes aux fins d'évaluation de la vulnérabilité (voir http://www41.statcan.ca/ceb_r000_f.htm). Statistique Canada rend également disponibles des projections des chiffres de population et de la répartition selon l'âge par sexe pour les années 2011, 2016, 2021, 2026 et 2031. D'autres sources de données socio-économiques sont mentionnées dans les divers chapitres de la présente évaluation.

RÉFÉRENCES

- Adger, W.N. « Vulnerability », *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, 2006, pp. 268–281.
- Adger, W.N. et P.M. Kelly. « Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, n° 3–4, 1999, pp. 253–66.
- Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson et J.E. Walsh. « Polar regions in impacts, adaptation and vulnerability », chapitre 15 dans *Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge , Royaume-Uni, 2007, pp. 653–685, <<http://www.ipcc-wg2.org/>>, [consultation : 31 août 2007].
- Barrow, E., B. Maxwell et P. Gachon (éd.). Climate variability and change in Canada: past, present and future, Service météorologique du Canada, Environnement Canada, Toronto, Ontario, *ACSD Science Assessment Series* n°. 2, 2004, 114 p.
- Bates, N.R., S.B. Moran, D.A. Hansell et J.T. Mathis. « An increasing CO₂ sink in the Arctic Ocean due to sea-ice loss », *Geophysical Research Letters*, vol. 33, (L23609),2006, doi:10.1029/2006GL027028.
- Berkes, F. et H. Fast. « Aboriginal peoples: the basis for policy-making towards sustainable development », dans *Achieving Sustainable Development*, A. Dale et J.B. Robinson (éd.), University of British Columbia Press, Vancouver, Colombie-Britannique, 1996, pp. 204–264.
- British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection. *Indicators of Climate Change for British Columbia*, BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002, 50p., <<http://www.env.gov.bc.ca/air/climate/indicat/pdf/indcc.pdf>> [consultation : 18 mai 2007]
- Brooks, N. *Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework*, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 38, 2003, <http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp38.pdf>, [consultation : 15 mai 2007].
- Brooks, N., W.N. Adger et P.M. Kelly. « The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation », *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 2, 2005, pp. 151–163.
- Brown, J., K.M. Hinkel et F.E. Nelson (éd.). « The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: research designs and initial results », *Polar Geography*, vol. 24, n° 3, 2000, pp. 165–258.
- Carter, T.R., E.L. La Rovere, R.N. Jones, R. Leemans, L.O. Mearns, N. Nakicenovic, A.B. Pittock, S.M. Semenov et J. Skea. « Developing and applying scenarios », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 145–190, <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm>, [consultation : 15 mai 2007].
- Caya, D. Regional climate projections with RCMs: présentation faite à la conférence Application of Climate Models to Water Resources Management , les 18 et 19 novembre 2004 à Victoria, Colombie-Britannique; Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) Ressources hydrauliques, 2004, <http://www.ouranos.ca/doc/CCIARN_CAYA.pdf>, [consultation : 8 mai 2007].
- Centre for Indigenous Environmental Resources. *Climate change impacts on ice, winter roads, access trails and Manitoba First Nations*, rapport remis en novembre 2006 à Ressources naturelles Canada et Affaires indiennes et du Nord Canada, 2006, 66 p. plus annexes, <<http://www.cier.ca/information-and-resources/publications-and-products.aspx?id=190>>, [consultation : 15 mai 2007].
- Demuth, M.N., A. Pietroniro et T.B.M.J. Ouarda. *T.B.M.J. Streamflow regime shifts resulting from recent glacier fluctuations in the eastern slopes of the Canadian Rocky Mountains*, rapport rédigé avec le soutien du Prairie Adaptation Research Collaborative, 2002.

- Déqué, M., R.G. Jones, M. Wild, F. Giorgi, J.H. Christensen, D.C. Hassell, P.L. Vidale, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, F. Kucharski et B. van den Hurk. « Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results », *Climate Dynamics*, vol. 25, n° 6, 2005, pp. 653–670.
- Environnement Canada. Tendances du système climatique et biophysique de la Terre au 20^e siècle, *Science du changement climatique*, Environnement Canada, 2003, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/trends/index_f.html>, [consultation : 15 mai 2007].
- Environnement Canada. Température et précipitations dans une perspective historique: annuelles 2006, *Bulletin des tendances et des variations climatiques*, Environnement Canada, 2006, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/crrm/bulletin/annual06/national_f.cfm>, [consultation : 15 mai 2007].
- European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) community members. « Eight glacial cycles from an Antarctic ice core », *Nature*, vol. 429, 10 juin, 2004, pp. 623–628.
- Fernandes, R., V. Korolevych et S. Wang. Trends in land evapotranspiration over Canada for the period 1960–2000 based upon in-situ climate observations and land-surface model », *Journal of Hydrometeorology*, 2007.
- Forbes, D.L., G.S. Parkes, G.K. Manson et L.A. Ketch. « Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence », *Marine Geology*, vol. 210, n° 1–4, 2004, pp. 169–204.
- Füssel, H. et R.J.T. Klein. « Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking », *Climatic Change*, vol. 75, n° 3, 2006, pp. 301–329.
- Gillett, N.P., A.J. Weaver, E.W. Zwiers et M.D. Flannigan. « Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, n° 18, (L18211), 2004, pp. 1–4.
- Grothmann, T. et A. Patt. « Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change », *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 3, 2005, pp. 199–213.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annexe B: glossaire » dans *Bilan 2001 des changements climatiques : rapport synthèse, contribution des groupes de travail I, II et III au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, R.T. Watson et Équipe de rédaction principale Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, pp. 365–389, <<http://www.ipcc.ch/pub/syrglossfrench.pdf>>, [consultation : 15 mai 2007].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs »; dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001b, pp. 1–18, <<http://www.ipcc.ch/pub/wg2SPMfinal.pdf>>, [consultation : 9 mai 2007].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001c, pp. 1–20, <<http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>>, [consultation : 9 mai 2007].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*; contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007a, <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>>, [consultation : 8 mai 2007].
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikoff, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007b, pp. 7–22, <<http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf>>, [consultation : 27 mai 2007].
- Hegerl, G.C., F.W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner et P.A. Stott. « Understanding and attributing climate change », chapitre 9 dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch09.pdf> [consultation : 25 juillet 2007].
- Hengeveld, H., B. Whitewood et A. Ferguson. *Une introduction au changement climatique : une perspective canadienne*, Environnement Canada, 2005, 55 p., <http://www.msc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/icc/index_f.html>, [consultation : 15 mai 2007].
- Huntington, H., S. Fox, F. Berkes et I. Krupnik. « The changing Arctic: indigenous perspectives », chapitre 3 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005a, pp. 61–98, <<http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>> [consultation : 15 mai 2007].
- Huntington, H., G. Weller, E. Bush, T.V. Callaghan, V.M. Kattsov et M. Nuttal. « An introduction to the Arctic Climate Impact Assessment », chapitre 1 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005b, pp. 1–19, <<http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>>, [consultation : 6 mai 2007].
- Huntington T.G. « Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis », *Journal of Hydrology*, vol. 319, 2006, pp. 83–89.
- Hutterli, M.A., C.C. Raeble et T.F. Stocker. « Reconstructing climate variability from Greenland ice sheet accumulation: an ERA40 study », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, n° 23, art. L23712, 2005, pp. 1–4.
- Hyndman, R.D. et S.R. Dallimore. « Natural gas hydrate studies in Canada », *The Recorder*, vol. 26, 2001, pp. 11–20.
- Institut canadien d'études climatologiques. *Frequently asked questions — downscaling background*, Institut canadien d'études climatologiques, 2002, <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?More_Info-Downscaling_Background>, [consultation : 8 mai 2007].
- Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment. *Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*, version 1, préparé par T.R. Carter, M. Hulme et M. Lal, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999, 69 p., <http://www.ipcc-data.org/guidelines/ggm_no1_v1_12-1999.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].
- International Scientific Steering Committee. *Avoiding dangerous climate change: international symposium on the stabilisation of greenhouse gas concentrations*, Hadley Centre, Met Office, Exeter, Royaume-Uni, 2005, <http://www.stabilisation2005.com/Steering_Committee_Report.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].
- Kelly, P.M. et W.N. Adger. « Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation », *Climatic Change*, vol. 47, n° 4, 2000, pp. 325–352.
- Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM », *Journal of Climate*, vol. 13, n° 21, 2000, pp. 3760–3788.
- Kharin, V.V., F.W. Zwiers, X. Zhang et G.C. Hegerl. « Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations », *Journal of Climate*, vol. 20, no 8, 2007, p. 1419–1444.
- Klein, R.J.T., M. Alam, I. Burton, W.W. Dougherty, K.L. Ebi, M. Fernandes, A. Huber-Lee, A.A. Rahman et C. Swart. *Application of environmentally sound technologies for adaptation to climate change*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Bonn, Allemagne, Publication technique FCCC/TP/2006/2, 2006, 107 p.
- Klein, R.J.T., R.J. Nicholls et N. Mimura. « Coastal adaptation to climate change: can the IPCC technical guidelines be applied? », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, n° 3–4, 1999, pp. 239–252.
- Lambert, S.J. et J.C. Fyfe. « Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise », *Climate Dynamics*, vol. 26, n° 7–8, 2006, pp. 713–728.
- Laprise, R., D. Caya, A. Frigon et D. Paquin. « Current and perturbed climate as simulated by the second-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM-II) over northwestern North America », *Climate Dynamics*, vol. 21, 2003, pp. 405–421.
- Laprise, R., D. Caya, M. Giguère, G. Bergeron, H. Côté, J.-P. Blanchet, G.J. Boer et N.A. McFarlane. « Climate and climate change in western Canada as simulated by the Canadian Regional Climate Model », *Atmosphere-Ocean*, vol. 36, n° 2, 1998, pp. 119–167.
- Lim, B., E. Spanger-Siegfried, I. Burton, E. Malone et S. Huq (éd.). *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, pp. 165–181.
- Manning, M., M. Petit, D. Easterling, J. Murphy, A. Patwardhan, H.H. Rogner, R. Swart et G. Yohe (éd.). Workshop report from IPCC workshop on describing scientific uncertainties in climate change to support analysis of risk and options; atelier tenu du 11 au 13 mai 2004 à la National University of Ireland, Maynooth, Irlande, 2004, 138 p., <http://ipcc-wg1.ucar.edu/meeting/URW/product/URW_Report_v2.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].
- Manson, G.K., S.M. Solomon, D.L. Forbes, D.E. Atkinson et M. Craymer. « Spatial variability of factors influencing coastal change in the western Canadian Arctic », *Geo-Marine Letters*, vol. 25, n° 2–3, 2005, pp. 138–145.
- Mason, F. « The Newfoundland cod stock collapse: a review and analysis of social factors », *Electronic Green Journal*, n° 17, décembre, 2002, <<http://egi.lib.uidaho.edu/egi17/mason1.html>>, [consultation : 9 mai 2007].
- McBean, G., G. Alekseev, D. Chen, E. Förland, J. Fyfe, P.Y. Groisman, R. King, H. Melling, R. Vose et P.H. Whitfield. « Arctic climate: past and present », chapitre 2 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, pp. 21–60, <<http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>>, [consultation : 9 mai 2007].
- McCulloch, M.M., D.L. Forbes, R.W. Shaw et l'équipe scientifique du CCAF A041. *Coastal Impacts of climate change and sea level rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, 2002, 62 p.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver et Z.-C. Zhao. « Global climate projections », chapitre 10 dans *Climate Change 2007: The Physical*

- Science Basis*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, pp. 747-845, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch10.pdf>, [consultation : 9 mai 9, 2007].
- Meehl, G.A., W.M. Washington, B.D. Santer, W.D. Collins, J.M. Arblaster, A. Hu, D.M. Lawrence, H. Teng, L.E. Buja et W.G. Strand. « Climate change projections for the twenty-first century and climate change commitment in the CCSM3 », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 11, 2006, pp. 2597-2616.
- Mendelsohn, R. « The role of markets and governments in helping society adapt to a changing climate », *Climatic Change*, vol. 78, n° 1, 2006, pp. 203-215.
- Metz, B., O. Davidson, J.-W. Martens, S. Van Rooijen et L. Van Wie Mcgrory (éd.). *Methodological and Technological Issues in Technology Transfer*, rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, New York, New York, 2000, 432 p., <<http://www.grida.no/climate/ipcc/tectran/index.htm>>, [consultation : 9 mai 2007].
- Mortsch, L., J. Ingram, A. Hebb et S. Doka. *Great Lakes coastal wetland communities: vulnerabilities to climate change and response to adaptation strategies*, Environnement Canada, 2006, <http://manu.uwaterloo.ca/research/aird/wetlands/index_files/page0012.htm> [consultation : 15 mai 2007].
- Moulton, R. et D. Cuthbert. « Cumulative impacts/risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes-St. Lawrence River system », *Journal canadien des ressources hydrauliques*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 181-208.
- National Snow and Ice Data Center. « Sea ice decline intensifies », *National Snow and Ice Data Center*, 2005, <http://nsidc.org/news/press/20050928_trends_fig1.htm>, [consultation : 11 juillet 2007].
- Nickels, S., C. Furgal, M. Buell et H. Moquin. *Unikaaqatigiit — putting the human face on climate change: perspectives from Inuit in Canada*, publication conjointe du Inuit Tapiriyat Kanatami, du Nasivik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval, et le Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, 2006, 195 p., <<http://www.itk.ca/environnement/climate-change-book.php>>, [consultation : 15 mai 2007].
- Nixon, M., C. Tarnocai et L. Kutny. *Long-term active layer monitoring, Mackenzie Valley, Northwest Canada*, comptes-rendus de la 8e conférence internationale sur le pergélisol, du 20 au 25 juillet 2003, à Zurich, Suisse, W. Haebler et D. Brandova (éd.), International Permafrost Association, vol. 8, n° 2, 2003, pp. 821-826.
- Parry, M. et T. Carter. *Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach*, Earthscan Publications Ltd., Londres, Royaume-Uni, 1998, 166 p.
- Plummer, D.A., D. Caya, A. Frigon, H. Côté, M. Giguère, D. Paquin, S. Biner, R. Harvey et R. de Elia. « Climate and climate change over North America as simulated by the Canadian RCM », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 13, 2006, pp. 3112-3132.
- Ressources naturelles Canada. « Toutes les communautés dépendantes des ressources », 2001, Ressources naturelles Canada, Atlas du Canada, 2006, <<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/economic/rdc2001/rdcall>>, [consultation : 11 juillet 2007].
- Santé Canada. *Changement climatique, santé et bien-être : notions préliminaires aux politiques pour le nord canadien*, Santé de l'environnement et du milieu du travail, Santé Canada, 2005, <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/climat/policy_primer_north-nord_abecedaire_en_matiere/know-develop-connaiss_f.html>, [consultation : 15 mai 2007].
- Schipper, E.L.F. « Conceptual history of adaptation in the UNFCCC process », *Review of European Community and International Environmental Law*, vol. 15, n° 1, 2006, pp. 82-92.
- Schneider, S.H. « Abrupt non-linear climate change, irreversibility and surprise », *Global Environmental Change*, vol. 14, no 3, 2004, p. 245-258.
- Shabbar, A. et W. Skinner. « Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures », *Journal of Climate*, vol. 7, n° 14, 2004, pp. 2866-2880.
- Smit, B. et O. Pilifosova. « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 9-28.
- Smit, B. et J. Wandel. « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability », *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, 2006, pp. 282-292.
- Smit, B., R.J.T. Klein et R. Street. « The science of adaptation: a framework for assessment », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 199-213.
- Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 877-912, <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/641.htm>, [consultation : 9 mai 2007].
- Smith, J.B., R.J.T. Klein et S. Huq. « Introduction » dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 1-9.
- Smith, S.L., M.M. Burgess, D. Riseborough et F.M. Nixon. « Recent trends from Canadian permafrost thermal monitoring network sites », *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 16, 2005, pp. 19-30.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood et D. Wratt. « Technical summary », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_TS.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].
- Spahni, R., J. Chappellaz, T.F. Stocker, L. Loulergue, G. Hausmann, K. Kawamura, J. Flückiger, J. Schwander, D. Raynaud, V. Masson-Delmotte et J. Jouzel. « Atmospheric science: atmospheric methane and nitrous oxide of the late Pleistocene from Antarctic ice cores », *Science*, vol. 310, n° 5752, 2005, pp. 1317-1321.
- Statistique Canada. *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires*, Statistique Canada, n° de catalogue 91-520-XIE, 2005, <<http://www.statcan.ca/bsolc/francais/bsolc?catno=91-520-X&CHROPG=1>>, [consultation : 7 mai 2007].
- Statistique Canada. *Estimations de la population, selon le groupe d'âge et le sexe, Canada, provinces et territoires*, annuel, Statistique Canada, Tableau CANSIM 051-001, 2006.
- Statistique Canada. *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN)*, annuel (dollars), 1981-2006, Statistique Canada, Tableau CANSIM 379-0017, 2007a.
- Statistique Canada. *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, aggregations industrielles spéciales fondées sur le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN)*, annuel (dollars), 1981-2006, Statistique Canada, Tableau CANSIM 379-0020, 2007b.
- Statistique Canada. *Produit intérieur brut par industrie*; Statistique Canada, no de catalogue 15-001-XIF, 2007c.
- Statistique Canada. *Chiffres de population et des logements, Canada et localités désignées, recensements de 2006 et 2001*, données intégrales, Statistique Canada, no de catalogue 97-550-XWF2006002, 2007d, <<http://www12.statcan.ca/francais/census06/data/popdwel/Table.cfm?T=1301&SR=726&S=9&O=A&RPP=25&PR=0&CMA=0>>, [consultation : 8 mai 2007].
- Statistique Canada. *Portrait de la population canadienne en 2006 : tableaux de données, figures, cartes et animations, recensement de 2006*, série « Analyses », Statistique Canada, 2007e, <<http://www12.statcan.ca/francais/census06/analysis/popdwel/tables.cfm>>, [consultation : 24 mai 2007].
- Stern, N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, New York, New York, 2006, 712 p.
- Taylor, A.E., K. Wang, S.L. Smith, M.M. Burgess et A.S. Judge. « Canadian Arctic permafrost observatories: detecting contemporary climate change through inversion of subsurface temperature time-series », *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, n° 2, art. B02411, 2006.
- United Kingdom Climate Impacts Programme. *A changing climate for business: business planning for the impacts of climate change*, United Kingdom Climate Impacts Programme, 2005, <<http://data.ukcip.org.uk/resources/publications/documents/99.pdf>>, [consultation : 8 mai 2007].
- Vincent, L.A. et É. Mekis. « Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 44, n° 2, 2006, pp. 177-193.
- Walker, B. et J.A. Meyers. « Thresholds in ecological and social-ecological systems: a developing database », *Ecology and Society*, vol. 9, n° 2, art. 3, 2004.
- Walker, B., C.S. Holling, S.R Carpenter et A. Kinzig. « Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems », *Ecology and Society*, vol. 9, n° 2, art. 5, 2004.
- Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry et H.-R. Chang. « Atmospheric science: changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment », *Science*, vol. 309, n° 5742, 2005, pp. 1844-1846.
- Yohe, G. et R.S.J. Tol. « Indicators for social and economic coping capacity — moving toward a working definition of adaptive capacity », *Global Environmental Change*, vol. 12, n° 1, 2002, pp. 25-40.
- Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, n° 3, 2000, pp. 395-429.
- Zhang, X., F.W. Zwiers et P.A. Stoot. « Multimodel multisignal climate change detection at regional scale », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 17, 2006, pp. 4294-4307.

ANNEXE 1

PRÉSENTATION GRAPHIQUE DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Diagrammes de dispersion (figure A-1)

Les diagrammes de dispersion permettent de visualiser rapidement les changements des températures et des précipitations moyennes de la région à l'étude. Le nombre de mailles correspondant à la région couverte par un chapitre dépend du MCG, puisque la résolution spatiale varie entre les modèles du climat. Chaque symbole de couleur représente un scénario de changement climatique, identifié dans la légende du diagramme. De plus, des carrés gris sur les graphiques indiquent la représentation de la variabilité climatique « naturelle » selon la deuxième génération du modèle couplé de circulation générale (MCCG2) du Centre canadien de modélisation et d'analyse du climat. Ces données proviennent d'une longue passe de vérification effectuée avec ce MCG, sans changement du forçage avec le temps.

Lorsqu'il y a une superposition entre les symboles de couleur et les carrés gris, les scénarios se trouvent dans la fourchette de la variabilité climatique « naturelle », tandis que, s'il n'y a pas de chevauchement, les scénarios sont à l'extérieur de la plage, et ils représentent peut-être des conditions qui ne se sont encore jamais présentées.

Les lignes bleues sur le graphique indiquent les changements médians des températures et des précipitations moyennes, issus de la série de scénarios représentés dans le diagramme de dispersion. De fait, ces lignes divisent le graphique en quatre quadrants, ce qui permet d'identifier les scénarios qui illustrent des conditions plus froides, plus chaudes, plus sèches ou plus humides que celles de la plupart des scénarios. Cela permet également de repérer ceux qui présentent les changements les plus « extrêmes ».

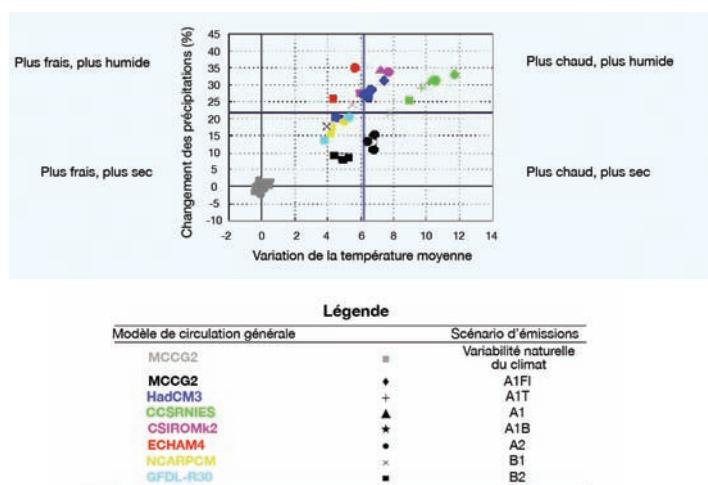


FIGURE A-1 : Exemple d'un diagramme de dispersion et de la légende des diagrammes présentés dans ce rapport. Les couleurs représentent le modèle de circulation générale et les symboles, les scénarios d'émissions.

Cartes des scénarios (figure A-2)

Les cartes des scénarios présentent un résumé de tous les scénarios de changement climatique obtenus grâce aux MCG et illustrés par les diagrammes de dispersion. Tous les scénarios ont été interpolés dans la grille du MCCG2, avant que les changements minimums, moyens et maximums soient calculés et inscrits. De ce fait, les valeurs dans chaque maille ne proviennent pas nécessairement du même scénario.

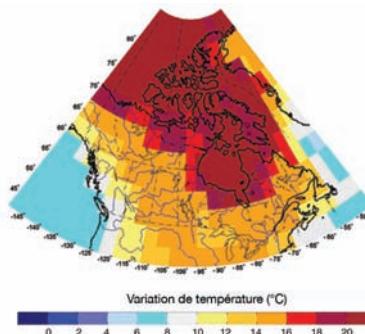


FIGURE A-2 : Exemple d'une carte pour un scénario d'ensemble. Il s'agit des changements projetés de la température annuelle maximum au Canada d'ici les années 2080.

Tracés en rectangle et moustaches (figure A-3)

Le tracé en rectangle et moustaches est une façon de présenter les renseignements récapitulatifs d'un échantillon de données. Des lignes sont situées au quartile inférieur, à la médiane et au quartile supérieur du rectangle, et les moustaches sont les lignes qui s'étendent à chaque extrémité du rectangle pour illustrer l'étendue du reste des données. Le rectangle représente les données centrales correspondant à 50 p. 100 de l'échantillon. Les moustaches indiquent les valeurs maximum et minimum des données s'il y a un point sur la moustache inférieure. Lorsqu'il y a des valeurs aberrantes, indiquées par le symbole « + », la longueur de la moustache est 1,5 fois celle de l'écart interquartile. Le tracé en rectangle et moustaches à la figure A-3 montre que, pour les années 2050 et 2080, les moustaches représentent les valeurs maximum et minimum des données. Pour les années 2020, il y a une valeur aberrante à la limite supérieure des valeurs des données, signalée par le symbole « + ». La longueur de la moustache est donc, dans ce cas, 1,5 fois celle de l'écart interquartile.

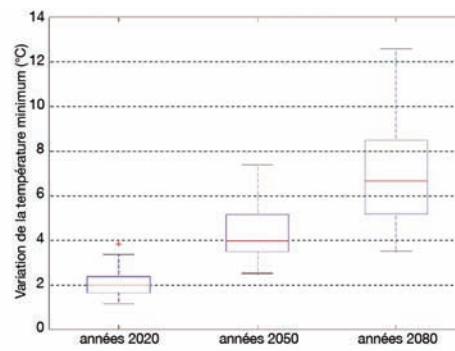


FIGURE A-3 : Exemple d'un tracé en rectangle et moustaches.