

# CHAPITRE 5

## Québec



**Auteurs principaux :**  
Alain Bourque<sup>1</sup> et Guillaume Simonet<sup>1</sup>

**Collaborateurs principaux :**  
Michel Allard (*Université Laval/Ouranos*), Gilles Boulet (*Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec*), Christopher Bryant (*Université de Montréal*), Diane Chaumont (*Ouranos*), Claude Desjarlais (*Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec/Ouranos*), Pierre Gosselin (*Institut national de santé publique du Québec/Ouranos*), Daniel Houle (*Ministère des Ressources naturelles du Québec/Ouranos*), Jacinthe Lacroix (*Environnement Canada*), Nancy Lease (*Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec/Ouranos*), Daniel Martin (*Institut national de santé publique du Québec*), François Morneau (*Ministère de la Sécurité publique du Québec/Ouranos*), Anh Thu Pham (*Ouranos*), René Roy (*Hydro-Québec/Ouranos*), Jean-Pierre Savard (*Ouranos*), Luc Vescovi (*Ouranos*), Claude Villeneuve (*Université du Québec à Chicoutimi*), Abderrahmane Yagouti (*Ouranos*)

Notation bibliographique recommandée :

Bourque, A. et G. Simonet. « Québec », 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. 171-226.

---

<sup>1</sup> Ouranos, Montréal (Québec)

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

1 INTRODUCTION.....	175
2 LE QUÉBEC EN ÉVOLUTION .....	176
2.1. Population .....	176
2.2. Activité socio-économique .....	177
2.2.1. Économie .....	177
2.2.2. Évolution sociale .....	178
2.3. Environnement.....	178
2.3.1. Environnement bâti .....	178
2.3.2. Environnement naturel .....	179
2.3.3. Climat .....	179
3 SENSIBILITÉS, IMPACTS ET ADAPTATION .....	183
3.1. Sous-région nord.....	184
3.2. Sous-région centrale .....	186
3.2.1. Forêts .....	186
3.2.2. Production hydroélectrique.....	188
3.3. Sous-région maritime.....	190
3.4. Sous-région sud.....	192
3.4.1. Energie.....	192
3.4.2. Agriculture .....	193
3.4.3. Gestion de l'eau .....	195
3.4.4. Tourisme et loisirs .....	199
3.4.5. Transports .....	200
3.4.6. Contexte particulier à sous-région sud .....	200
3.5. Autres enjeux intégrés à l'échelle de la province.....	201
3.5.1. Sensibilités et adaptation des populations .....	202
3.5.2. Sensibilités et adaptation des activités socio-économiques.....	208
3.5.3. Sensibilités et adaptation de l'environnement naturel et bâti .....	209
4 SOMMAIRE ET CONCLUSION .....	215
5 REMERCIEMENTS .....	218
RÉFÉRENCES .....	219

---

## PRINCIPALES CONCLUSIONS

---

Le changement climatique aura de nombreux impacts sur l'environnement, la population et les activités socio-économiques. Au Québec, ces impacts évolueront selon les sensibilités propres aux régions; leur ampleur et leur coût iront vraisemblablement en augmentant avec le temps. Voici les principales conclusions :

**L'ampleur et la sévérité des impacts du changement climatique est en bonne partie fonction de l'évolution des conditions démographiques, socio-économiques et environnementales. Ainsi, outre le changement climatique comme tel, l'analyse des impacts anticipés doit également inclure l'analyse des facteurs qui toucheront la vulnérabilité de chacune des sous-régions. Dès lors, il est intéressant de noter que :**

- de 1960 à 2003, le Québec méridional a connu un réchauffement variant entre 0,5 °C et 1,2 °C dans l'ouest et le centre, et un réchauffement inférieur à 0,5 °C dans l'est. Un lent refroidissement a été remplacé par un soudain réchauffement avoisinant 2 °C depuis 1993 sur l'Arctique québécois;
- malgré les incertitudes, l'utilisation de modèles climatiques toujours plus performants permet de produire des scénarios climatiques détaillés pour plusieurs paramètres et plusieurs régions qui pointent tous vers des changements tendanciels importants du système climatique;
- la croissance de la population ralentit et on assiste à un vieillissement de plus en plus important, sauf dans les communautés amérindiennes et inuites. Dans les régions, on assiste à un phénomène de dépopulation, principalement au profit des couronnes de banlieue et des zones périurbaines des centres métropolitains dans le sud du Québec, favorisant un étirement urbain au détriment de terres à fort potentiel agricole;
- bien que l'état de santé général s'améliore, l'évolution future sur ce plan est incertaine en raison de plusieurs facteurs, les populations à risque devenant pour leur part de plus en plus vulnérables;
- l'économie du Québec en croissance est aujourd'hui majoritairement à caractère tertiaire et largement imbriquée dans l'économie continentale et mondiale. Par contre, les infrastructures sont vieillissantes et largement exposées aux aléas climatiques. De plus, de nombreuses collectivités en région sont dépendantes des ressources naturelles et donc très vulnérables à ces mêmes aléas climatiques.

**C'est dans la sous-région nord que sont anticipés les plus importants effets du changement climatique en valeur absolue.** Ceux-ci viendront complexifier les problèmes que connaît déjà la sous-région par rapport, entre autres, à la forte exposition des collectivités aux risques naturels, à la dépendance de nombreuses infrastructures essentielles, à l'accès aux ressources et aux modes de vie traditionnels étroitement reliés à l'environnement naturel actuel. Les écosystèmes terrestres et aquatiques ont commencé à changer, notamment dans leur structure à cause de la dégradation du pergélisol, des formations de cuvettes et de mares de thermokarst, de l'expansion des populations arbustives et des déplacements des populations fauniques.

**Le changement climatique viendra modifier l'environnement naturel avec des implications potentiellement significatives là où l'exploitation des ressources naturelles est au cœur de l'activité économique.** En effet, paysage, hydrologie et géomorphologie des cours d'eau, répartition de la faune et de la flore, de même que biodiversité régionale, pourraient tous subir de profondes mutations, particulièrement là où les pressions anthropiques sont déjà fortes. Par contre, cela pourrait avoir un certain effet bénéfique à cause d'une hausse anticipée de la productivité de certains secteurs tels que l'hydroélectricité et la forêt. Toutefois, ces scénarios demeurent incertains pour plusieurs raisons : manque de données, tendances historiques contradictoires, processus mal compris, incertitudes reliées aux outils utilisés, ou encore effets de marché à l'échelle du continent.

**La sous-région maritime, dont la côte est fortement exposée à l'hydrosphère, assistera vraisemblablement à une accentuation de l'érosion des berges le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, là où se situent justement les principales zones socio-économiques.**

L'élévation du niveau de la mer, la disparition progressive de l'englacement, la géologie de certaines côtes et les régimes possiblement changeants des tempêtes semblent en effet se conjuguer pour entraîner une intensification du processus naturel d'érosion, fragilisant l'environnement bâti, les attractions touristiques et la qualité de vie de nombreuses collectivités de cette sous-région fortement dépendante de son accès maritime.

**Pour la sous-région sud, une augmentation de fréquence, d'intensité ou de durée des phénomènes climatiques extrêmes représenterait des risques accrus pour l'environnement bâti vieillissant, les populations vulnérables et les collectivités vivant dans des zones exposées aux risques naturels.** Des événements météorologiques du passé ont démontré la forte dépendance des collectivités urbaines et rurales à l'égard des infrastructures d'approvisionnement en eau, en énergie et de transport exposées aux aléas climatiques. Par ailleurs, un adoucissement des hivers et une « tropicalisation » des étés signifieraient une évaporation accrue des eaux naturelles, risquant d'envenimer des conflits d'usages de la ressource et une fragilisation des terres humides dépendantes du régime des crues. Plusieurs espèces menacées, aux habitats fragmentés et à faible capacité migratoire, déjà soumises à divers stress, courraient également de grands risques. Par contre, le changement climatique pour cette sous-région pourrait également avoir pour effet des économies (demande réduite en énergie) et présenter des occasions de mise en valeur (productivité végétale accrue) se traduisant par des gains de plusieurs centaines de millions de dollars par année.

**L'adaptation au changement climatique offre de nombreuses pistes de solutions permettant l'atténuation substantielle des impacts négatifs.** Les sociétés humaines qui se sont de tous temps montrées aptes à s'adapter à la variabilité climatique, semblent une nouvelle fois capables de surmonter les obstacles à l'adaptation au changement climatique, laquelle repose sur les éléments suivants: déterminer et comprendre les enjeux prioritaires; acquérir et communiquer les données et les informations dont ont besoin les acteurs de l'adaptation; développer et appliquer les techniques ou les technologies optimales; modifier ou adapter les politiques et les normes ainsi que les structures organisationnelles; et tenir compte des incertitudes émergentes dans la prise de décisions. Le Québec dispose d'une grande capacité d'adaptation, notamment grâce à une économie de savoir toujours plus diversifiée. Quant à l'environnement naturel, il s'adapte surtout de façon spontanée et autonome, et les systèmes humains pourront contribuer à faciliter cette adaptation. Bien que l'adaptation semble une option de plus en plus incontournable, les limites et les coûts en sont généralement peu connus, notamment à long terme. Dès lors, l'adaptation devrait impérativement être accompagnée de réductions des émissions de gaz à effet de serre afin d'attaquer le problème à sa source et de minimiser les « mauvaises surprises » que le climat pourrait réservé pour l'avenir.

# 1

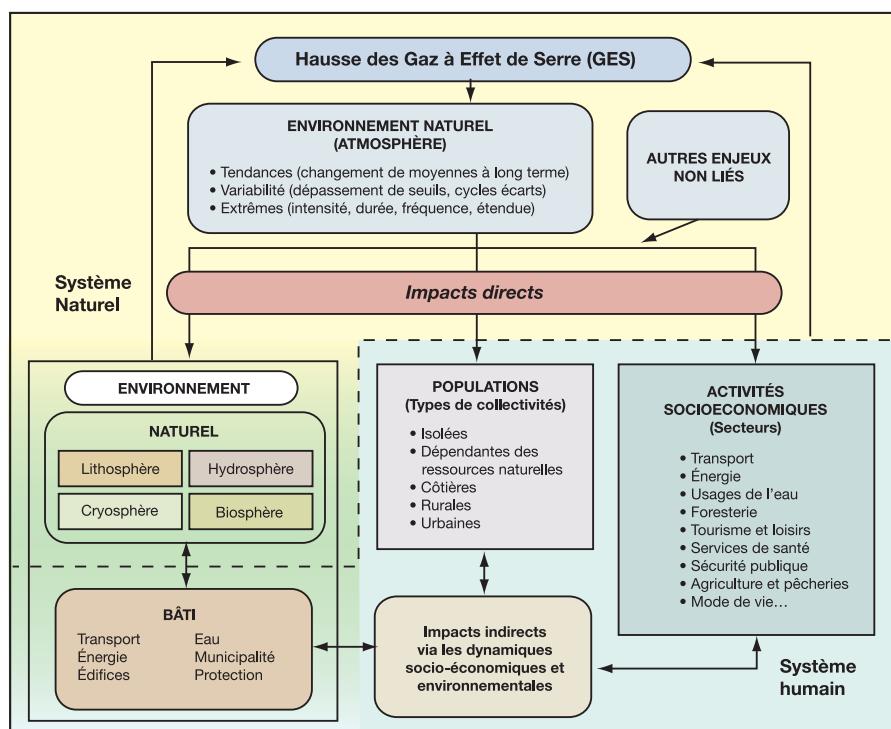
## INTRODUCTION

L'objectif du présent chapitre est de mettre à jour les évaluations existantes (Environnement Canada, 1997; Ouranos, 2004; Lemmen et Warren, 2004) en matière de sensibilités, d'impacts et d'adaptation au changement climatique afin de contribuer à la compréhension et à la recherche de pistes de solutions au phénomène, en présentant une synthèse des informations concernant le Québec.

La figure 1 présente la problématique des impacts et montre comment les conditions atmosphériques peuvent toucher directement ou indirectement, subtilement ou subitement les systèmes naturels et humains. Il est possible de regrouper tous les impacts du changement climatique en trois éléments, qui réagiront et s'adapteront aux nouvelles situations (*voir United States Global Change Research Program, 2000*). Ces trois « éléments clés » sont la population (les êtres humains), l'environnement naturel et bâti (ce qui l'entoure) ainsi que les activités socio-économiques (la dynamique humaine), lesquelles peuvent subir des impacts directs lors de modifications dans les moyennes de températures, la variabilité et les extrêmes du climat, s'ils y sont exposés et sensibles. Par ailleurs, tout impact sur un élément peut se répercuter sur les deux autres éléments à cause d'impacts indirects, généralement plus difficiles à quantifier et responsables de la complexité des impacts intégrés des changements. Si l'on considère, par exemple, l'effet des précipitations extrêmes devenant plus fréquentes ou intenses : celles-ci agissent directement sur l'hydrosphère et la fréquence des débordements d'égouts et indirectement sur la fréquence des inondations des habitations ainsi que sur la santé des populations, les interruptions de services et l'état de l'économie, générant de nombreux autres impacts en cascade. Étant donné l'ampleur de la problématique, le chapitre du Québec se limite à présenter une synthèse des enjeux envisagés les plus importants, compte tenu de la documentation disponible.

Par ailleurs, la figure 1 soulève l'un des énormes défis d'une telle synthèse, soit celui de choisir une approche afin de catégoriser et de regrouper les nombreux enjeux, tout en abordant les enjeux croisés et cumulatifs.

Après l'introduction qui présente quelques généralités et concepts, la section 2 décrit brièvement les caractéristiques actuelles et l'évolution des trois « éléments clés » sous l'influence du changement climatique. La section 3 constitue le cœur de cette mise à jour, abordant l'état des connaissances en fonction des quatre sous-régions du Québec, puis des trois « éléments clés ». Enfin, la section 4 propose une synthèse afin d'orienter le développement d'une science du changement climatique complète, comprenant la recherche sur le climat, l'amélioration des connaissances sur les impacts appréhendés ainsi que l'évolution de tout ce qui a trait à l'adaptation, thème émergent des dernières années. Cette science du changement climatique deviendra de plus en plus nécessaire à la prise de décisions.



**FIGURE 1 :** Impacts directs et indirects du climat, de sa variabilité et ses extrêmes sur les trois éléments clés (l'environnement [naturel ou bâti], la population et les activités socio-économiques), illustrant l'importante sphère d'influence et la complexité des impacts climatiques. D'autres enjeux, tels que le développement technologique, les choix de société, le vieillissement des infrastructures, les changements démographiques, se produisent en parallèle et interagissent avec ces changements climatiques. Il est à noter que dans ce document, l'environnement naturel fait référence au regroupement des cinq sous-systèmes climatiques défini par Peixoto and Oort (1992) où l'atmosphère est l'initiateur du changement climatique qui induit ces impacts.

# 2 LE QUÉBEC EN ÉVOLUTION

Avec ou sans changement climatique, le Québec n'a jamais cessé d'évoluer dans le temps. Sa population, l'environnement naturel et bâti ainsi que les activités socio-économiques se sont transformés au cours des derniers siècles et, plus particulièrement, au cours des dernières décennies. Puisque la nature et l'ampleur des impacts du changement climatique dépendront autant des caractéristiques des trois éléments clés que du changement climatique proprement dit, il importe de faire une synthèse des caractéristiques de ces éléments et de celles du climat. Avant d'aborder les enjeux spécifiques et régionaux liés aux impacts du changement climatique, cette section présente les grandes caractéristiques et le portrait probable de l'évolution du Québec pour les décennies à venir.

## 2.1. POPULATION

Avec ses 7,5 millions de personnes (2005), le Québec est la deuxième province en importance au Canada. Une grande partie de sa population (82 p. 100) se concentre dans le sud du territoire et le long du Saint-Laurent, le reste étant réparti dans d'autres régions où l'économie est davantage axée sur l'exploitation des ressources naturelles. Le Québec est urbanisé : 75 p. 100 de sa population demeure dans 73 villes de plus de 10 000 habitants – dont 54 p. 100 dans les neuf villes de plus de 100 000 habitants, soit Montréal, Québec, Lévis, Gatineau, Sherbrooke, Laval, Longueuil, Saguenay et Trois-Rivières – et son économie est diversifiée. Le territoire rural (80 p. 100 du territoire habité) représente 1,6 million de personnes (22 p. 100 de la population) vivant dans près de 1 000 villages. Enfin, la population autochtone totale avoisine les 83 000 personnes, soit 73 000 amérindiens et 10 000 Inuits (Secrétariat aux affaires autochtones, 2006).

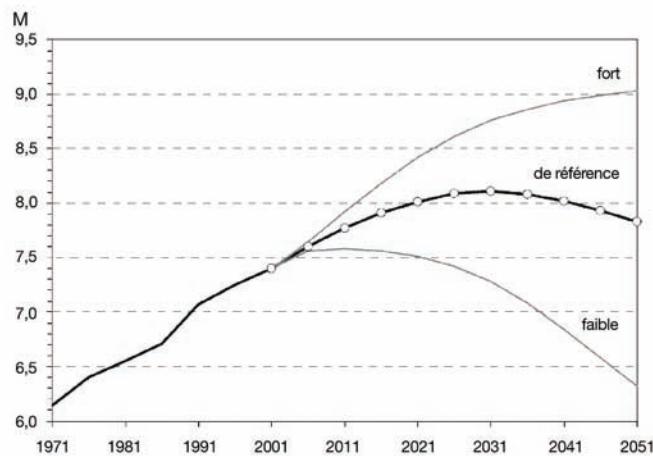
Au cours des prochaines décennies, la population du Québec sera marquée par une stabilisation du nombre d'habitants ainsi qu'une modification de la composition régionale et des groupes d'âge. Selon l'Institut de la statistique du Québec (ISQ), elle passerait à près de 8 millions en 2026 et à 7,8 millions en 2051 selon le scénario de référence (*voir la figure 2*; Institut de la statistique du Québec, 2003). L'incertitude autour de cette prévision repose principalement sur les hypothèses concernant l'évolution de l'immigration nette et de la fécondité, qu'encaissent les scénarios faible et fort de l'ISQ.

Par ailleurs, 12 des 17 régions administratives du Québec verront leur population décroître d'ici 2026. À long terme, cette décroissance serait encore plus marquée, allant de -16 p. 100 à -32 p. 100. Parallèlement, la population de la région de Montréal augmenterait de près de 450 000 personnes (+13 p. 100), celles-ci s'installant principalement dans les couronnes nord et sud, poursuivant ainsi une tendance à l'étalement urbain (Statistique Canada, 2007a). L'Outaouais connaîtrait également une forte croissance, avec une augmentation de 13 p. 100 en 2041. Le Nunavik, en raison de ses particularités (*voir la section 3.1*), verrait sa population (10 000 personnes en 2001) augmenter de 28 p. 100 (13 000 personnes) à l'horizon 2021. Actuellement, cette population

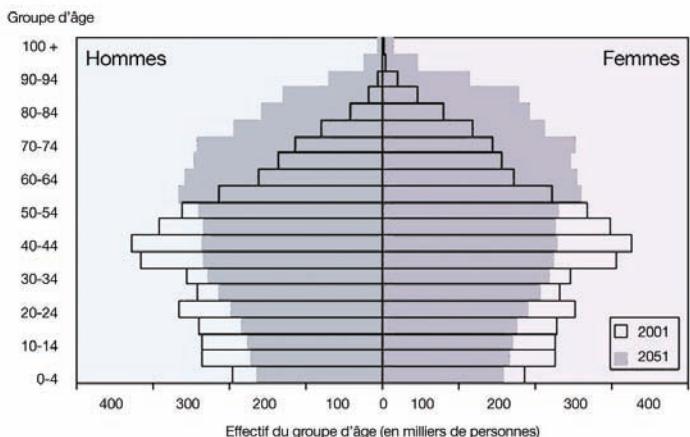
est jeune (en 2004, 56 p. 100 était âgé de moins de 25 ans) et est regroupée dans 14 villages établis le long des côtes de la baie d'Hudson, du détroit d'Hudson et de la baie d'Ungava (Institut de la statistique du Québec, 2004). Sa croissance se traduit déjà par une forte demande sur le plan de l'habitation (*voir la section 3.1*).

Compte tenu de ces projections, les variations de la population par groupes d'âge seraient encore plus prononcées que celles prévues des populations totales des régions (*voir la figure 3*). En effet, en raison du rapport entre le nombre de personnes âgées de plus de 65 ans et celui des plus jeunes, le profil démographique du Québec serait complètement transformé. En 2051, le nombre de personnes âgées de 65 ans et plus dépasserait les 2 millions et, en 2026, leur poids démographique dépasserait les 20 p. 100 dans toutes les régions, sauf dans le nord du Québec. En 1996, la région la plus âgée, soit la Mauricie, comptait moins de 15 p. 100 de personnes âgées de 65 ans et plus. À l'horizon 2026, seule une zone en forme de croissant, centrée sur la région de Montréal (de l'Outaouais au centre du Québec), présenterait une certaine vigueur démographique. Ainsi, une proportion croissante de la population viendrait augmenter les tranches d'âge souvent associées à des groupes actuellement vulnérables au changement climatique. Ce changement aura des impacts sur la vulnérabilité de la société québécoise, particulièrement sur les moyens financiers disponibles pour le soutien des services de santé de plus en plus sollicités (Godbout *et al.*, 2007).

Par ailleurs, l'état de santé de la population québécoise évolue positivement et est bien documenté pour les différentes régions administratives du Québec (Institut national de la santé publique du Québec, 2006). Bien que la majorité des indicateurs socio-économiques et de santé révèlent une amélioration graduelle et constante de l'état de santé, un rapport précédent avait signalé



**FIGURE 2 :** Scénarios d'évolution de la population totale du Québec jusqu'en 2051 (Institut de la statistique du Québec, 2003).



**FIGURE 3 :** Pyramide des âges de la population du Québec, de 2001 à 2051, scénario A de référence (Institut de la statistique du Québec, 2003).

certains comportements, perceptions et indicateurs favorables à un accroissement potentiel du nombre de personnes vulnérables (sédentarité, excès de poids, personnes âgées vivant seules; Institut national de la santé publique du Québec, 2006). Depuis, ces tendances ne se sont généralement pas confirmées sauf pour les populations demeurées vulnérables qui ont vu leur vulnérabilité s'accroître.

Puisque les tendances démographiques ne se modifient que graduellement, les projections semblent indiquer la poursuite du vieillissement démographique, de la croissance des populations urbaines et de la dépopulation des régions éloignées. En conséquence, l'évolution de la démographie et de l'état de santé pourront contribuer à accroître ou diminuer la vulnérabilité des populations au changement climatique.

## 2.2. ACTIVITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE

### 2.2.1. Économie

Première province du Canada sur le plan de la superficie, le Québec avait en 2005 un produit intérieur brut de près de 274 milliards de dollars (Statistique Canada, 2007b). Son économie diversifiée, largement tournée vers l'extérieur, assure à sa population un haut niveau de vie et lui donne d'importants moyens financiers pour faire face aux impacts potentiels du changement climatique (*voir la section 2.3 au chapitre 2*).

Longtemps reconnu pour ses ressources naturelles, le Québec a vu au cours des dernières décennies son économie se transformer en profondeur. Il compte maintenant sur un secteur des services (secteur tertiaire) où les activités commerciales et financières, les services de santé et d'éducation, les loisirs et l'administration publique occupent près de 70 p. 100 du PIB, contre 30 p. 100 pour celles des industries productrices de biens des secteurs primaire et secondaire (Statistique Canada, 2007b). Tout indique que cette tendance vers la tertiarisation se poursuivra, notamment avec la croissance des industries de l'information, des loisirs et du tourisme ainsi qu'avec la croissance des services de santé.

Prédominant au début du XX<sup>e</sup> siècle, le secteur primaire, aux activités telles que l'agriculture, la foresterie ou encore la chasse et la pêche, ne représentait en 2005 que 2,3 p. 100 du PIB. Pour ce qui est du secteur secondaire manufacturier, plusieurs industries reposent sur la transformation des ressources, dont l'agroalimentaire et la transformation du bois. Cette dernière industrie représente près de 3 p. 100 du PIB de même qu'une proportion importante des exportations du Québec. Aussi, la production d'électricité au Québec, à 96 p. 100 d'origine hydraulique, représente 4 p. 100 du PIB et devrait s'accroître passablement au cours de la prochaine décennie. Il en va de même avec la filière éolienne, une industrie actuellement en plein essor grâce à la nouvelle politique énergétique du Québec et dont la puissance installée devrait passer de 100 à 4 000 MW d'ici à 2015 (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006a).

L'économie québécoise est aussi caractérisée par de profondes différences entre ses régions. Si dans le sud du Québec, où l'économie est très diversifiée, les activités manufacturières et tertiaires occupent une place considérable dans la production du travail et dans l'emploi, dans certaines autres régions, l'agriculture, la forêt, la production hydroélectrique, les mines et les industries de transformation des ressources continuent de fournir une part importante des emplois directs (12 p. 100 à 20 p. 100). Au total, plusieurs centaines de collectivités dépendent directement d'une (ou des) ressource(s) naturelle(s) en place.

Ce portrait de l'économie québécoise devrait évoluer fortement au cours des prochaines décennies. Selon les tendances actuelles de la démographie et de la productivité du travail (+1,6 p. 100 selon Lafrance et Desjarlais, 2006), le Québec connaîtrait une croissance économique soutenue et doublerait sa production d'ici 50 ans (Ministère des Finances du Québec, 2005). Les ménages et les individus verront ainsi leurs revenus augmenter substantiellement, disposant alors de moyens accrus pour satisfaire leurs besoins.

L'augmentation de la scolarisation et de l'urbanisation sont également envisagées (Institut de la statistique du Québec, 2003). En région, l'évolution démographique créerait des différences importantes sur le plan de la croissance économique globale et par habitant, auxquelles viendraient s'ajouter les effets de la croissance différenciée des industries des ressources par rapport à ceux de la croissance des autres secteurs économiques.

Enfin, de nombreux changements commerciaux (nouveaux accords commerciaux, développement économique des pays émergents), technologiques (demande, méthodes ou procédés de production) ou encore reliés à la disponibilité et aux coûts des approvisionnements influeront sur les différentes activités de production de biens et services. Si l'évolution de certains secteurs est facile à prévoir pour les premières décennies, elle l'est moins pour les 50 ou les 100 prochaines années, notamment pour les industries comme celles des pâtes et papiers, de la transformation du bois et de l'agroalimentaire, sujettes à de rapides changements socio-économiques.

Les changements démographiques et socioculturels auront aussi des répercussions notables sur la demande de biens et services, comme une hausse des besoins en services de santé requis par une population vieillissante ou encore des besoins en loisirs des retraités, allant de pair avec des moyens technologiques mis au point pour les satisfaire. En somme, le contexte socio-économique sera, lui aussi, différent du contexte actuel et les liens accrus avec les marchés

internationaux viendront modifier (*voir* le chapitre 9) de façon complexe la sensibilité du système socio-économique aux répercussions ayant lieu au Québec et ailleurs.

## 2.2.2. Évolution sociale

L'évolution des systèmes humains est étroitement liée à de nombreux aspects sociaux, allant des perceptions individuelles aux politiques publiques et au capital social (Adger, 2003), en passant par le leadership (Bacal, 2006) et l'évolution des valeurs. Au-delà des impacts physiques et économiques plus aisément mesurables, l'importance accordée aux divers impacts du changement climatique sera influencée par l'évolution difficile à évaluer des perceptions et des valeurs de la société. Les acquis socio-économiques importants, le niveau croissant d'éducation, la sensibilité accrue à la protection de l'environnement, les communications et la complexité des enjeux influenceront particulièrement les prises de décisions permettant de composer avec les impacts du changement climatique (Bryant *et al.*, 2007). Ainsi, les inquiétudes de la société québécoise liées à la qualité de l'environnement ont incité, par exemple, les gouvernements à renforcer les balises encadrant la gestion des déjections animales (Institut national de recherche sur les eaux, 2004) et à abandonner d'autres projets majeurs comme la centrale thermique du Suroît, ou encore à légiférer afin de préserver les ressources en eau (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2002). Les événements climatiques extrêmes, les études scientifiques et leurs couvertures médiatiques ont probablement eu des conséquences sociales variées et importantes parfois difficiles à mesurer. Déjà, des réalités et perceptions similaires avaient fait en sorte que le Québec avait adhéré dès novembre 1992 aux principes et à l'objectif de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Depuis, le Québec a réalisé différentes actions, y compris la mise en œuvre de son Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006a), ainsi que l'adoption d'une loi sur le développement durable (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006b), prenant position en faveur d'un concept encore inconnu il y a à peine une vingtaine d'années.

Sur un autre plan, une proportion non négligeable de la population vit dans des conditions de précarité socio-économique reliées aux conditions d'emploi, à la démographie et à l'immigration, à la diminution du pouvoir d'achat et au défi d'acquérir un niveau d'éducation plus élevé (Institut national de santé publique du Québec, 2006). Cette population est concentrée dans les grandes villes en valeur absolue et pose des défis particuliers. Pour d'autres groupes, comme les Inuits du Nunavik et les Premières Nations d'autres régions, les réalités socio-économiques particulières augmenteraient ou diminueraient leur vulnérabilité quant à divers aspects du changement climatique.

Néanmoins, tout porte à croire que l'intérêt des populations pour les enjeux environnementaux, tels que le changement climatique, s'accroîtra malgré l'obligation de composer avec d'autres transformations nombreuses et rapides, comme la concurrence internationale accrue, la démographie, les avancées technologiques ainsi que les enjeux sociaux, d'éducation et de bien-être individuel et collectif.

## 2.3. ENVIRONNEMENT

### 2.3.1. Environnement bâti

L'environnement bâti a connu une progression fulgurante au Québec depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, s'expliquant par l'urbanisation, l'enrichissement, les développements technologiques, la croissance et l'étalement de la population, ainsi que par l'interdépendance et la complexité croissante des activités socio-économiques. Généralement exposé au climat, l'environnement bâti devient vulnérable au moment d'événements climatiques dépassant un seuil coût/risque établi. Considérant le climat stationnaire, les concepteurs d'ouvrages intègrent les données climatiques des dernières décennies à leurs plans afin de concevoir des infrastructures et bâtiments répondant aux attentes. Naturellement, toute modification de cet état stationnaire du climat pourra avoir une incidence sur l'efficacité, la durée de vie et la sécurité des ouvrages à cause de l'occurrence d'impacts directs ou indirects susceptibles de provoquer la destruction, la défaillance, la perte d'efficacité ou la création d'une nuisance externe.

Le regroupement par type d'infrastructures et édifices qui composent l'environnement bâti (*voir* la figure 1) s'inspire de la Loi sur les ingénieurs du Québec (Ordre des ingénieurs du Québec, 2006). Les infrastructures de transport permettent la réalisation d'activités socio-économiques dans plusieurs régions (isolées, côtières, urbaines, rurales) au moyen de divers modes de transport (terrestre [routier ou ferroviaire], maritime, aérien). Les infrastructures reliées aux ressources hydriques, comme les barrages (5144 au Québec, incluant 333 grands barrages selon l'Institut national de recherche sur les eaux, 2004), les canaux et les ports, exploitent l'hydrosphère. Les infrastructures associées aux domaines de l'énergie et de la géologie ont rapport notamment à l'exploitation ou à l'intégrité des paysages. Les infrastructures municipales assurent, par exemple, la distribution de l'eau et son traitement, la gestion de l'eau de surface ou encore, l'élimination des déchets. Les édifices abritent souvent la population et représentent un grand nombre de bâtiments. Les ouvrages de protection, parfois qualifiés d'essentiels, servent à garantir la sécurité des populations, des activités socio-économiques et de l'environnement naturel et bâti; on compte au nombre des exemples biens connus, les digues bordant la ville de Winnipeg, celles de la Nouvelle-Orléans, ainsi que plusieurs enrochements côtiers ou brise-lames de l'est du Québec. Enfin, l'environnement naturel peut être aménagé ou modifié volontairement (ou involontairement) afin de maintenir ou de rehausser l'environnement bâti et naturel (talus au bas d'une route ou rive artificielle).

Globalement, l'environnement bâti, en particulier les infrastructures municipales, sont vieillissantes, plusieurs ayant déjà dépassé leur durée de vie utile (Infrastructure Canada, 2004; Villeneuve *et al.*, 1998). Les besoins en nouvelles infrastructures, mais surtout en réhabilitation d'infrastructures existantes, demeurent et demeureront importants, et les investissements massifs attendus et prévus au cours des prochaines décennies sont déjà amorcés (Statistique Canada, 2006). De par leur spécificité régionale, les villages nordiques du Nunavik reçoivent depuis une trentaine d'années d'importants investissements afin de se doter d'infrastructures municipales, scolaires et commerciales ainsi que

d'infrastructures de transport. N'étant pas reliés entre eux ni au sud du Québec par un réseau routier, ils sont desservis par bateau et par avion; ce dernier mode de transport dispose d'aéroports dont les pistes sont pour la plupart non asphaltées et construites sur le pergélisol.

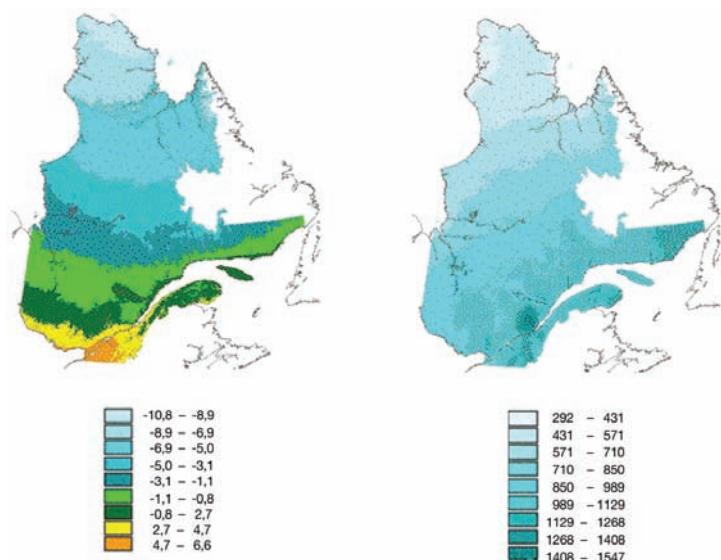
Bien que l'environnement bâti poursuivra sa croissance, les tendances quant au vieillissement des infrastructures, aux investissements publics, à la démographie et à l'urbanisation, ainsi qu'à la densification du sud du Québec, portent à croire qu'une proportion grandissante de l'attention ira à la réhabilitation et au renouvellement des infrastructures en place afin de répondre aux besoins d'une population vieillissante aux activités et intérêts socio-économiques différents de ceux du XX<sup>e</sup> siècle. Ces tendances font penser que l'intégration, lorsque pertinente, de nouvelles données climatiques ou nouvelles approches considérées lors de la conception et de la réhabilitation à venir sera déterminante quant à la vulnérabilité future de l'environnement bâti du Québec.

### 2.3.2. Environnement naturel

D'une superficie de 1 667 441 km<sup>2</sup>, le Québec est constitué du Bouclier canadien (collines, vastes forêts et nombreux lacs), de la plaine argileuse des basses terres du Saint-Laurent et d'une partie des Appalaches aux sommets allongés. Notamment, en raison des reculs et des avancées glaciaires récurrents, le relief du territoire est peu accentué, dépassant rarement les 900 m d'altitude. La partie extrême nord présente une végétation de toundra, un sol reposant sur du pergélisol plus ou moins continu et un climat rigoureux aux vents forts sous lequel évoluent une faune et une flore adaptées. Plus au sud, le couvert forestier (757 900 km<sup>2</sup>) est dominé par une forêt boréale (73,7 p. 100) dense, qui abrite une importante faune et une grande variété d'oiseaux. La forêt mixte, mélange de feuillus et de conifères, couvre les basses terres du Saint-Laurent et compte une grande diversité d'espèces végétales et animales. Par ailleurs, grâce à son important réseau hydrographique et ses milliers de lacs et de rivières recensés, le Québec détient, d'après les estimations, 3 p. 100 des eaux renouvelables de la planète. Enfin, 10 p. 100 de l'eau souterraine se trouve en région habitée, et un tiers du territoire fait partie du bassin versant du Saint-Laurent, fleuve qui dessert 80 p. 100 de la population (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006b; Le Québec géographique, 2006). D'ailleurs, les ressources naturelles sont graduellement devenues de plus en plus exploitées afin de générer une quantité croissante (en valeur absolue mais pas en pourcentage du PIB) de produits et services à la base de l'économie et de la société du Québec.

Quant à l'atmosphère, sous-système climatique initiateur des impacts du changement climatique, de nombreuses caractéristiques climatiques, notamment la température moyenne et les précipitations totales annuelles (*voir* la figure 4), ont contribué au fil des siècles à façonner la cryosphère, l'hydroosphère, la biosphère et même la lithosphère du Québec. De par son exposition continue aux conditions atmosphériques et considérant la nature essentiellement spontanée des processus d'adaptation, ceci laisse présager un plus fort potentiel d'impacts directs et indirects significatifs consécutif à toute transformation de l'atmosphère.

Cette situation est en contraste avec les populations et leurs activités socio-économiques; ces dernières sont généralement moins exposées et munies d'une variété de moyens pour anticiper le changement climatique et s'y adapter, offrant un potentiel d'impacts plus indirects et complexes.



**FIGURE 4 :** Températures (en °C, à gauche) et précipitations moyennes annuelles (en mm, à droite) au Québec, entre 1966 et 1996 (Ouranos, 2004).

L'activité humaine a contribué à une transformation des paysages, de la faune et de la flore, surtout en raison de la croissance démographique et de l'exploitation des ressources naturelles. Malgré une tertiarisation de l'économie et une importance accrue accordée à l'environnement naturel, elle occasionnera de nouveaux changements, mais les conditions climatiques anticipées pourront en induire encore davantage, étant donné la sensibilité des écosystèmes au climat. Quelques conclusions sur les tendances et les projections climatiques concernant le Québec sont abordées à partir de la section suivante, mais des discussions détaillées sur ces points sont également disponibles dans d'autres documents (Ouranos, 2007).

### 2.3.3. Climat

Outre les conditions initiales et les tendances des trois éléments clés (population, environnement naturel et bâti, activités socio-économiques), l'évolution régionale, voire locale, du climat sera naturellement aussi déterminante quant à la nature et l'ampleur des impacts et des mesures d'adaptation spontanées ou planifiées qui en résulteront.

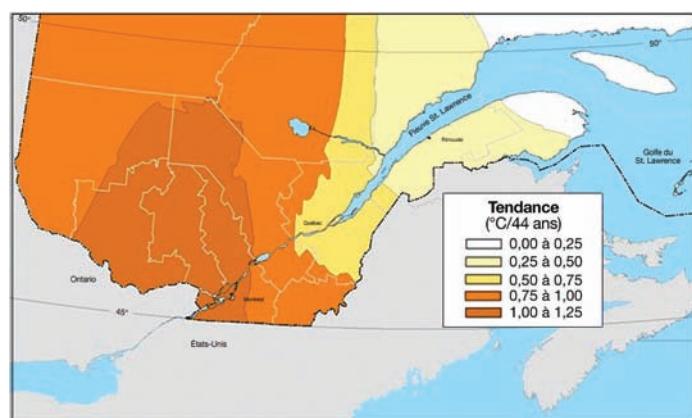
#### Tendances climatiques historiques

Barrow *et al.* (2004) et Gachon *et al.* (2005) ont fait état des changements statistiquement significatifs à la hausse sur plusieurs

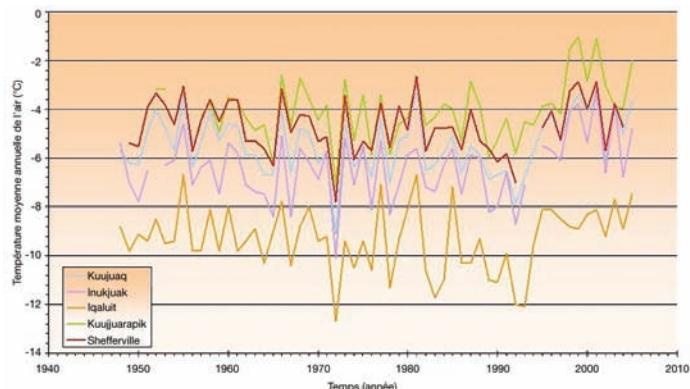
décennies pour des indicateurs tels que la température annuelle, les précipitations totales annuelles et le nombre de jours de pluie, tandis qu'ils constataient une diminution du couvert de glace.

Dans des études récentes, Yagouti *et al.* (2006, sous presse) ont constaté un réchauffement notable du climat dans plusieurs régions du Québec méridional entre 1960 et 2003. Un réchauffement marqué des températures annuelles moyennes, entre 0,5 °C et 1,2 °C, a été constaté dans l'ouest et le centre du Québec méridional. Le réchauffement suit un gradient décroissant orienté d'ouest en est. Ainsi, dans l'est du Québec méridional, un réchauffement peu important et inférieur à 0,5 °C s'est produit au cours de la même période. À la majorité des stations, on a constaté que le réchauffement a été plus rapide à partir de la deuxième moitié des années 1990 et a été plus prononcé la nuit que le jour, principalement en été. L'hiver et l'été constituent les saisons où le réchauffement le plus marqué a été constaté. Ainsi, par exemple, le centre et l'ouest du Québec méridional ont connu en été des augmentations des températures minimales variant entre 0,4 et 2,2 °C alors que, dans l'est, la majorité des stations n'a enregistré aucune tendance significative (*voir la figure 5*). Enfin, le réchauffement des températures hivernales et estivales s'est traduit par une évolution notable de plusieurs indicateurs climatiques, notamment les degrés-jours de croissance, les degrés-jours de chauffage, ou encore la durée de la saison sans gel. Le lecteur intéressé par une analyse détaillée de l'évolution des températures et des indicateurs climatiques dérivés pourra consulter l'ouvrage de Yagouti *et al.* (2006).

Quant au climat du nord du Québec, l'analyse des données homogénéisées des quelques stations semble indiquer un réchauffement plus important que dans toute autre région du Québec au cours du XX<sup>e</sup> siècle. À Inukjuak, par exemple, où l'on dispose de la plus longue série de données climatiques, la tendance de la température moyenne annuelle est de +2,9 °C de 1922 à 2004. Toutefois, il faut noter que l'ensemble des stations nordiques (*voir la figure 6*), incluant Inukjuak, ont vécu une tendance nulle, voire légèrement négative entre 1950 et le début des années 1990, suivi



**FIGURE 5 :** Interpolation de la tendance des températures annuelles moyennes entre 1960 et 2003. Les tendances présentées ici sont cohérentes avec les analyses faites à l'échelle du continent. Les masses d'eau imposantes à l'est du Québec expliqueraient la différence est-ouest (Yagouti *et al.*, 2006).



**FIGURE 6 :** Tendance des températures moyennes annuelles pour cinq stations nordiques non homogénéisées (M. Allard, communication personnelle, 2006).

par une période plus chaude d'au moins 1°C que les normales de 1961 à 1990. À titre d'exemple d'impact de cet épisode chaud, la température du pergélisol en surface a augmenté de près de 1°C en dix ans à plusieurs sites couvrant l'ensemble du nord du Québec (Allard *et al.*, 2004).

D'autres études climatiques non spécifiques au Québec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007) font état de potentielles tendances climatiques se manifestant sur son territoire, à savoir :

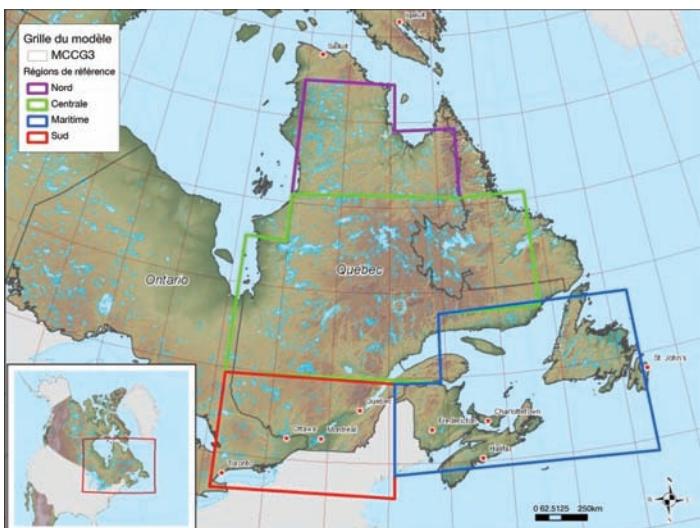
- une augmentation du couvert nuageux (Milewska, 2004);
- une diminution du gradient de pression entre le nord et le sud-est du Canada (Gillett *et al.*, 2003 ; Wijngaard *et al.*, 2003);
- une augmentation récente de l'activité cyclonique intense (McCabe *et al.*, 2001; Lambert, 2004);
- un déplacement de 181 km vers le nord de la trajectoire moyenne des dépressions hivernales dans l'Atlantique nord (Wang *et al.*, 2006);
- une augmentation de la précipitation automnale (Stone *et al.*, 2000) bien que, globalement, la variabilité inter-décennale semble dominer (Zhang *et al.*, 2001);
- une disponibilité en eau moindre entre 1950 et 2002 principalement sur le centre du Québec (Dai *et al.*, 2004; Ouranos, 2004; Déry et Wood, 2005);
- quelques modifications de la cryosphère, notamment une disparition printanière devancée entre 1966 et 1995 (Groisman *et al.*, 2003; Duguay *et al.*, 2006).

Plusieurs chercheurs relient ces observations à des indices tels l'oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation ou NAO), particulièrement pour la saison froide (Voituriez, 2003), et ce, même pour les températures (Wettstein et Mearns, 2002). Higuchi *et al.* (2000) ont même avancé que la persistance d'un NAO positif et des conditions de type El Niño dans l'océan Pacifique favorisent les tempêtes de pluie verglaçante sur le sud-est du Canada. Une description exhaustive de ces études sort cependant du cadre de ce chapitre.

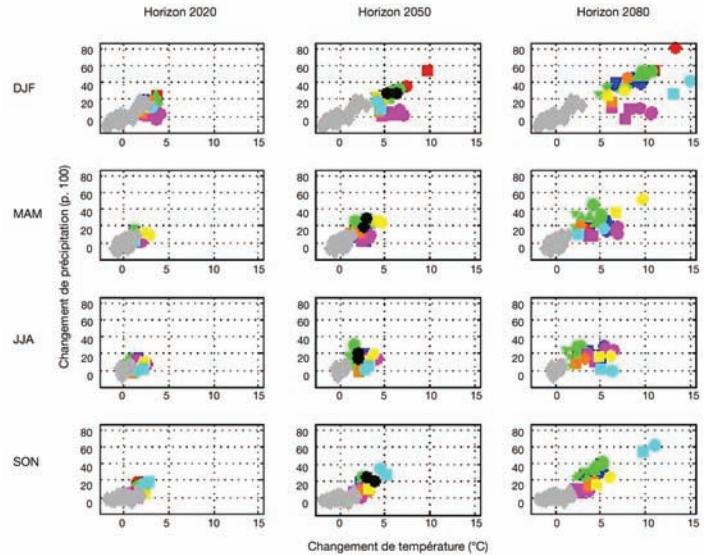
## Scénarios climatiques projetés

À l'instar du chapitre deux, les changements saisonniers des températures et des précipitations projetés par six modèles de circulation générale (MCG) utilisant différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre sont présentés pour quatre sous-régions (*voir la figure 7*). Les changements moyens projetés pour trois décennies centrées sur les décennies 2020, 2050 et 2080 sont présentés et interprétés par rapport aux normales climatiques de 1961 à 1990 (Environnement Canada, 1993). Les quatre diagrammes de dispersion (*voir les figures 8 à 11*) et les tableaux synthèses associés (*voir les tableaux 1 à 4*) résument les plus récentes projections saisonnières (*voir* pour les interprétations : Barrow *et al.*, 2004; Ouranos, 2004; Chaumont, 2005; Chaumont et Chartier, 2005). Les modèles régionaux du climat (MRC), au traitement plus fin des composantes de la dynamique et de la physique, produisent des résultats aux échelles spatiales et temporelles d'intérêt pour l'évaluation des impacts régionaux (Ouranos, 2004). De plus en plus, les résultats de MRC, dont le modèle canadien (MRCC), permettront d'élaborer des projections de changement climatique plus raffinées (Plummer *et al.*, 2006), d'où l'inclusion de résultats du MRCC dans les diagrammes de dispersion (*voir* les figures 8 à 11).

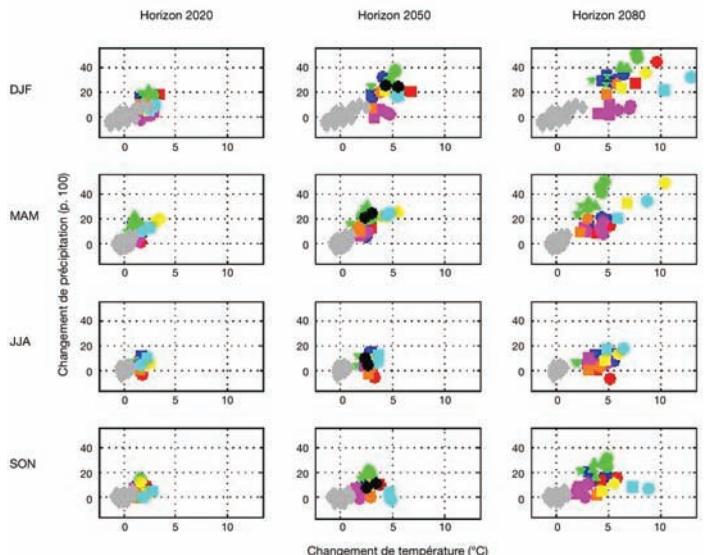
Dans l'ensemble, les températures moyennes augmenteraient pour les trois horizons climatiques, particulièrement pour la saison froide. Les précipitations saisonnières totales augmenteraient aussi, surtout en hiver et au printemps. Dans les sous-régions sud et maritime, les changements dans les précipitations totales de l'été et de l'automne sont incertains car autant de scénarios indiquent des diminutions que des augmentations; certaines de ces diminutions peuvent même atteindre 25 p. 100. Les changements projetés se démarquent généralement de la variabilité naturelle du climat simulée par le modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG3) dès l'horizon 2020 dans le cas de la température et beaucoup plus tard, soit parfois sur l'horizon 2050, voire même après l'horizon 2080, dans le cas de la précipitation.



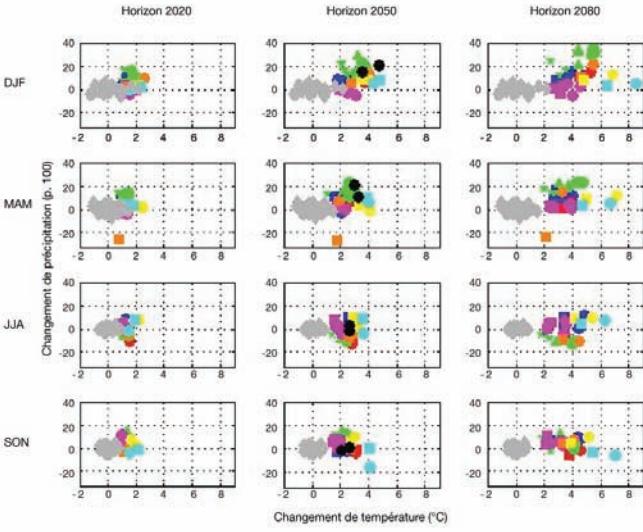
**FIGURE 7 :** Les quatre sous-régions choisies afin d'établir des scénarios équiprobables exprimés sous forme de diagrammes de dispersion des températures et des précipitations. La grille du modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG3) est ajoutée afin d'illustrer la résolution spatiale typique des modèles de circulation générale (MCG).



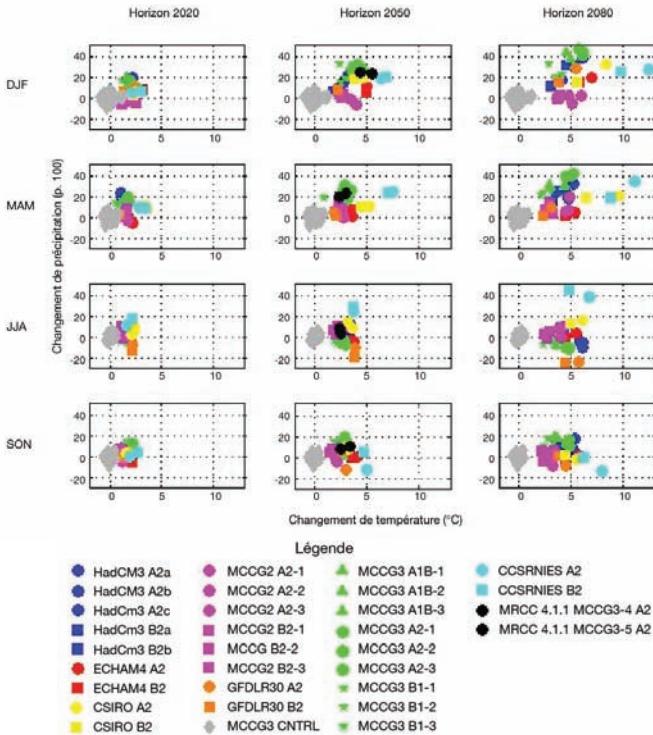
**FIGURE 8 :** Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région nord par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôle du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050. La légende se trouve à la figure 11.



**FIGURE 9 :** Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région centrale par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôle du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050. La légende se trouve à la figure 11.



**FIGURE 10 :** Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région maritime par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôlée du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050. La légende se trouve à la figure 11.



**FIGURE 11 :** Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région sud par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôlée du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050.

**TABLEAU 1 :** Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région nord.

Saison		Climat des 1980	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-21 à 25°C	+2,5 à +3,5°C	+4 à +7°C	+6 à +12,5°C
	Précipitations	60 à 180 mm	+1 à +18 p. 100	+2 à +32 p. 100	+5 à +53 p. 100
Printemps	Température	-7 à -17°C	+0,5 à +2°C	+1,5 à +3,5°C	+2,5 à +7°C
	Précipitations	75 à 125 mm	+1 à +12 p. 100	+4 à +26 p. 100	+8 à +35 p. 100
Été	Température	6 à 10°C	+1 à +2,5°C	+1,5 à +4°C	+2 à +6°C
	Précipitations	150 à 230 mm	+1 à +12 p. 100	+3 à +19 p. 100	+5 à +28 p. 100
Automne	Température	1 à 4°C	+1,5 à +2,5°C	+2 à +3,5°C	+2,5 à +6°C
	Précipitations	150 à 240 mm	+2 à +16 p. 100	+5 à +24 p. 100	+9 à +42 p. 100

**TABLEAU 2 :** Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région centrale.

Saison		Climat des 1980	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-11 à -21°C	+1,5 à +3°C	+3 à +5,5°C	+4,5 à +9,5°C
	Précipitations	130 à 325 mm	+1 à +18 p. 100	+4 à +32 p. 100	+6 à +47 p. 100
Printemps	Température	3 à -7°C	+0,5 à +2°C	+1,5 à +4,5°C	+2,5 à +8,5°C
	Précipitations	125 à 300 mm	+1 à +19 p. 100	+6 à +25 p. 100	+8 à +45 p. 100
Été	Température	10 à 17°C	+1 à +2°C	+2 à +3,5°C	+2,5 à +5,5°C
	Précipitations	230 à 310 mm	0 à +8 p. 100	-2 à +13 p. 100	0 à +13 p. 100
Automne	Température	-1 à 6°C	+1 à +2°C	+1,5 à +4°C	+2,5 à +5,5°C
	Précipitations	215 à 300 mm	0 à +13 p. 100	0 à +20 p. 100	+2 à +26 p. 100

**TABLEAU 3 :** Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région maritime.

Saison		Climat des 1980	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-10 à -13°C	+1 à +2°C	+2 à +4°C	+3 à +6°C
	Précipitations	295 à 400 mm	-2 à +12 p. 100	-1 à +21 p. 100	+1 à +32 p. 100
Printemps	Température	-1 à -3°C	+1 à +2°C	+1,5 à +3,5°C	+2,5 à +5°C
	Précipitations	250 à 325 mm	-3 à +13 p. 100	-2 à +16 p. 100	+1 à +23 p. 100
Été	Température	13 à 17°C	+1 à +1,5°C	+1,5 à +3°C	+2,5 à +5°C
	Précipitations	250 à 350 mm	-6 à +7 p. 100	-10 à +9 p. 100	-11 à +9 p. 100
Automne	Température	3 à 6°C	+1 à +1,5°C	+1,5 à +3°C	+2 à +5°C
	Précipitations	275 à 350 mm	+2 à +11 p. 100	-3 à +11 p. 100	-3 à +11 p. 100

**TABLEAU 4 :** Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région sud.

Saison		Climat des 1980	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-7,5 à -11°C	+1 à +2,5°C	+2 à +5°C	+3,5 à +8°C
	Précipitations	270 à 330 mm	-5 à +19 p. 100	0 à +32 p. 100	+1 à +43 p. 100
Printemps	Température	3,5 à 6°C	+1 à +3°C	+2 à +5°C	+2,5 à +8°C
	Précipitations	240 à 280 mm	-1 à +19 p. 100	+2 à +25 p. 100	+4 à +39 p. 100
Été	Température	18 à 20°C	+1 à +2°C	+2,5 à +4°C	+2,5 à +6°C
	Précipitations	280 à 350 mm	-5 à +10 p. 100	-7 à +13 p. 100	-11 à +15 p. 100
Automne	Température	6,5 à 9°C	+1 à +2,5°C	+2 à +4°C	+2,5 à +5,5°C
	Précipitations	270 à 330 mm	-1 à +10 p. 100	-8 à +16 p. 100	-7 à +18 p. 100

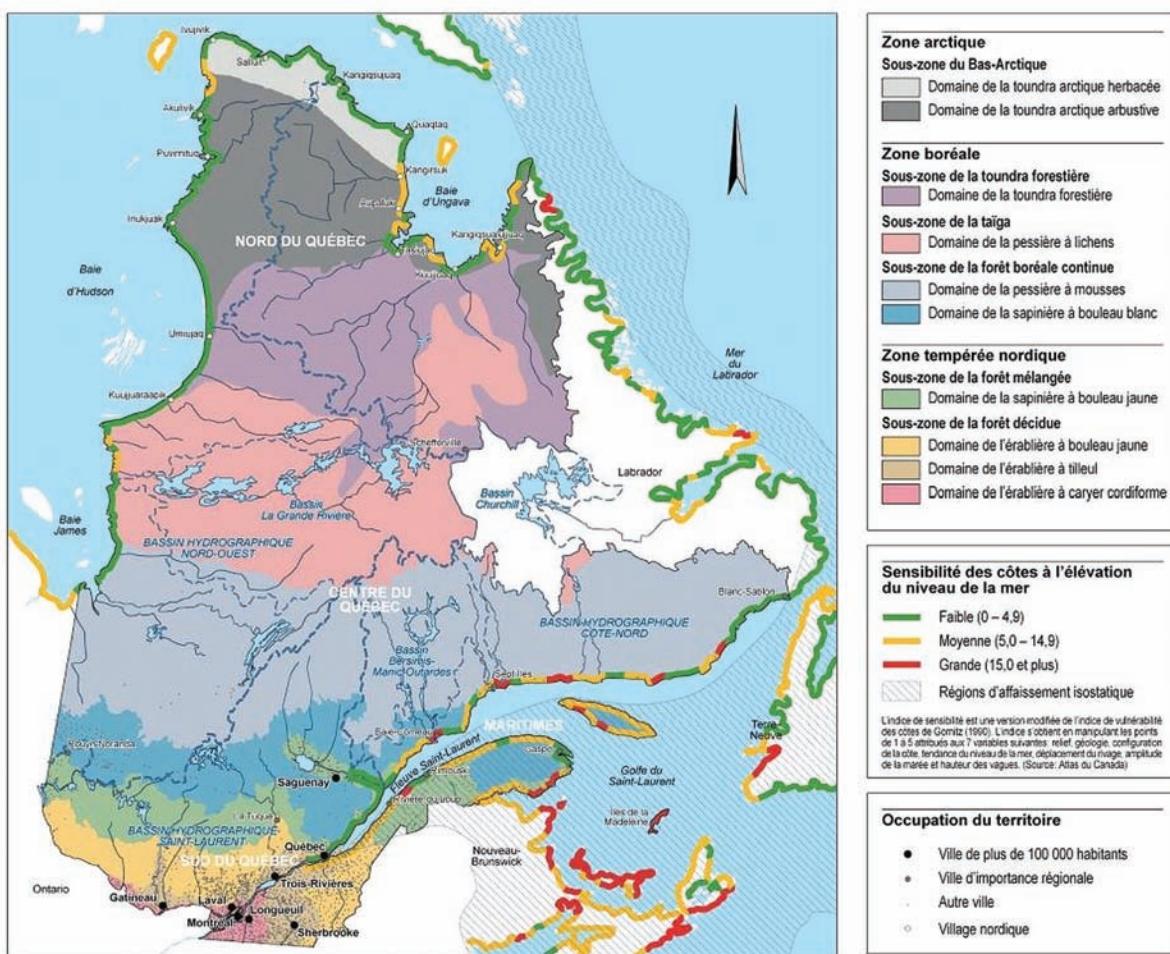
# **3 SENSIBILITÉS, IMPACTS ET ADAPTATION**

Afin de bien saisir la description offerte dans la présente section des sensibilités, vulnérabilités, opportunités, impacts appréhendés, adaptations spontanées et planifiées, ainsi que de la capacité d'adaptation que l'on retrouve sur le territoire du Québec, il est nécessaire de bien comprendre les concepts expliqués au chapitre 2.

L'approche retenue est régionale (sous-régions nord, centrale, maritime et sud) mais également sectorielle et transversale (*voir la section 3.5*), afin d'intégrer à cette section des enjeux non abordés dans les sections traitant des sous-régions. À l'exemple de l'approche adoptée par Ouranos (2004), les limites de ces quatre sous-régions ne doivent pas être perçues comme des limites administratives, mais plutôt comme des zones de transition graduelle entre régions qui regroupent des caractéristiques similaires.

La figure 12, à consulter tout au long de la section, offre un aperçu des enjeux sur un territoire que l'on peut résumer comme suit :

- la **sous-région nord** (*voir* la section 3.1) est caractérisée par la présence de collectivités isolées aux importantes transformations socio-économiques et démographiques;
  - la **sous-région centrale** (*voir* la section 3.2), par de vastes étendues de ressources naturelles importantes pour l'économie locale et celle du Québec;
  - la **sous-région maritime** (*voir* la section 3.3) par un développement calqué sur les zones côtières;
  - la **sous-région sud** (*voir* la section 3.4), par une urbanisation soutenue regroupant la majorité de la population, des activités économiques et de l'environnement bâti et provoquant de fortes pressions sur l'environnement naturel.



**FIGURE 12 :** Présentation des quatre sous-régions du Québec et d'une variété de caractéristiques d'intérêt quant à la sensibilité au changement climatique.

### 3.1. SOUS-RÉGION NORD

Le Nunavik se distingue des autres régions du Québec par sa faune et sa flore peu abondantes ainsi que par une saison froide allongée et un paysage dominé par la neige et la glace. Sa population, majoritairement inuite, a un mode de vie étroitement lié à son environnement. Elle est regroupée dans 14 villages (*voir la figure 12*), où sont concentrées les infrastructures. Les villages nordiques font face à d'importants changements depuis les trois dernières générations et connaissent aujourd'hui une expansion démographique rapide, ainsi qu'une transformation des activités socio-économiques autrefois basées essentiellement sur des modes de vie traditionnels. Malgré ces profonds changements, certaines activités (approvisionnement alimentaire, vente de fourrure sur les marchés internationaux) représentent encore une partie importante de l'économie locale. La figure 8 et le tableau 1 révèlent que le Nunavik subira, en même temps que de nombreux autres changements de diverse nature, le plus important changement climatique du Québec en valeur absolue, en particulier à cause de l'effet de rétroaction climatique de la neige et de la glace et de la présence de la baie d'Hudson à l'ouest. Les résultats et les conclusions d'initiatives, comme celles de l'Arctic Climate Impact Assessment (ACIA, 2004), d'ArcticNet (2006), du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2006) ou des projets d'Ouranos, s'appliquent à cette sous-région au nord du 55<sup>e</sup> parallèle connue sous le nom d' « Arctique québécois ».

#### ***Modifications à l'environnement naturel***

De pair avec l'évolution récente du climat, la température du pergélisol s'est élevée en moyenne de 1 à 1,5 °C entre 1990 et 2002, et ce jusqu'à 20 m de profondeur en certains endroits étudiés, tandis qu'un approfondissement notable de la couche active (la partie superficielle du terrain qui dégèle en été) était constaté (Allard *et al.*, 2002a). Les Inuits rapportent d'importantes transformations environnementales et même les chasseurs expérimentés disent avoir du mal à anticiper les conditions météorologiques, ou même l'état de la neige ou de la mer lors de leurs déplacements en motoneige ou en canot (Tremblay *et al.*, 2006). Le savoir traditionnel inuit semble moins fiable, et de nombreux accidents impliquant parfois des personnes expérimentées sont rapportés (Nickels *et al.*, 2005).

Le transfert de chaleur dans le sol, consécutif au réchauffement climatique, provoquera inévitablement une fonte partielle ou totale du pergélisol selon l'ampleur réelle du réchauffement au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (Lawrence et Slater, 2005). En conséquence, les écosystèmes seront fortement perturbés, en raison notamment de la dégradation du pergélisol, qui entraîne déjà des affaissements de terrain ainsi que la création et l'expansion de petits lacs (appelés lacs de thermokarst; Seguin et Allard, 1984). Les réseaux de drainage des sols sensibles sont susceptibles d'être modifiés par l'assèchement et l'extension des tourbières et des terres humides (selon les conditions locales de topographie et de texture du sol) ainsi que par le ravinement et l'érosion en rigoles (Payette *et al.*, 2004). Favorisée par les saisons estivales plus clémentes et une protection hivernale du couvert de neige accru dans la toundra, l'expansion des populations arbustives transformeraient les écosystèmes de façon importante, augmentant leur productivité primaire, phénomène qui devrait se répercuter sur le règne animal.

L'aire de répartition des espèces animales est appelée à progresser vers le nord au rythme de ces changements. L'incidence sur le comportement de populations migratrices, y compris, entre autres, les troupeaux de caribous, l'omble arctique, les oies et canards, les phoques et les baleines, reste à déterminer. En ce qui a trait aux écosystèmes, lesquels s'adaptent de façon spontanée, le sujet est traité à l'échelle provinciale à la section 3.5.

Dans la mesure où le régime des précipitations, de l'évapotranspiration et de l'écoulement souterrain est touché, le régime hydrologique des rivières évoluera et les températures de l'eau se réchaufferont. Des apports sédimentaires pourraient résulter de la détérioration du pergélisol, bien que leur ampleur reste à évaluer. Tous ces changements auront un impact non négligeable sur la faune aquatique régionale.

#### ***Environnement bâti sensible***

Face à la dégradation du pergélisol, le niveau de risque varie d'une communauté à l'autre, selon la géomorphologie (massifs de roche, sols granulaires ou sols argileux comportant de la glace, facteur d'instabilité au dégel). De la limite des arbres jusqu'au rivage du détroit d'Hudson, le gradient climatique est tel que le pergélisol discontinu, dont les températures se situent près du point de congélation, devient beaucoup plus froid. En conséquence, un réchauffement régional à peu près uniforme agira d'abord sur les marges sud du pergélisol, puis progressivement sur les territoires plus nordiques. Jusqu'à présent, la planification urbaine a tenu compte, autant que possible, de la nature du terrain dans chaque communauté. De plus, la plupart des bâtiments institutionnels, comme les écoles et les hôpitaux, et la plupart des maisons sont construits sur des pieux ou des chevalets, ce qui favorise la circulation de l'air et maintient le sol à des températures approchant celles de l'air (Fortier et Allard, 2003a, b).

Cependant, les bâtiments et les infrastructures importantes (aéroports, routes) sont partiellement ou totalement construits sur des terrains sensibles. Dans les zones où le sol est constitué de dépôts meubles contenant de la glace, la fonte du pergélisol cause des tassements et des déformations de sol susceptibles d'endommager les infrastructures. C'est le cas des infrastructures aéroportuaires de treize des quatorze villages, qui sont sous la responsabilité du ministère des Transports du Québec (MTQ), dont la sécurité et l'intégrité sont devenues préoccupantes (Grondin et Guimond, 2005). En effet, la fonte du pergélisol a déjà provoqué des tassements et des fissures, et est à l'origine de signes de détérioration que l'on remarque, autant sur plusieurs pistes d'atterrissement que sur les routes qui relient les aéroports aux villages (Beaulac et Doré, 2005). Les mesures d'entretien courantes ont jusqu'à maintenant suffi à assurer la sécurité; toutefois, la fréquence et les coûts accrus des réparations, le constat des dommages et la hausse des activités d'entretien ont amené le MTQ et Ouranos à élaborer un programme de recherche en vue de caractériser le pergélisol en-dessous et en bordure des infrastructures (profil thermique, tassements, conditions climatiques), d'évaluer le comportement de ces infrastructures depuis leur construction et de prédire leur évolution et, enfin, d'élaborer des mesures d'adaptation (Beaulac et Doré, 2005; Ministère des Transports du Québec, 2006a).

## **Transport local et accès aux ressources**

Au Nunavik, les chasseurs et les cueilleurs se servent principalement de l'embarcation en été et de la motoneige en hiver pour se déplacer. Les types de routes utilisés (voies navigables et chemins de glace) sont importants pour s'approvisionner (chasse, pêche, cueillette de petits fruits et d'œufs), pour déplacer les biens et les personnes entre les collectivités et pour accéder aux sites d'activités traditionnelles, telles que la trappe, la cueillette ou les activités familiales et sociales. Les déplacements et l'accès aux ressources sont cruciaux, d'une part, pour s'alimenter et, d'autre part, pour conserver une cohésion sociale indispensable au maintien d'une culture déjà fragilisée par d'autres stress.(Lafortune *et al.*, 2005). Dès lors, les nouvelles incidences climatiques (prévisions météorologiques difficiles, gel tardif et dégel précoce de la glace) rendent les déplacements plus risqués, ce qui touche aussi bien les aspects socio-économiques et culturels que la transmission des connaissances traditionnelles, tout en se répercutant sur l'identité individuelle et collective de cette société en mutation (Tremblay *et al.*, 2006).

## **Activités économiques en croissance**

De nouvelles ressources sont de plus en plus exploitées dans le Nunavik. L'industrie minière se développe rapidement à mesure que le territoire devient plus accessible et à la faveur des marchés internationaux des métaux. Le changement climatique offre de nouvelles occasions de développement comme, par exemple, le fait que les voies navigables restent ouvertes pour de plus longues périodes permet de réduire les coûts de transport des minerais (Beaulieu et Allard, 2003). Par contre, ces nouveaux accès ajouteront une pression additionnelle sur les espèces qui dépendent du couvert de glace, voire sur les populations qui dépendent de ces espèces pour leur subsistance. De plus, le changement climatique rend incertain le gel des parcs de résidus miniers toxiques, tout autant pendant qu'après l'exploitation, lorsque les gisements seront épuisés. Cette incertitude a pour effet d'engendrer, pour les futures exploitations, des prévisions de coûts plus élevés que prévu pendant et après l'exploitation, afin de prévenir toute contamination du milieu naturel par suintement et écoulement de produits toxiques.

Si l'exploitation des rivières de la baie d'Ungava à des fins de production d'électricité devenait acceptable sur les plans commercial et social, l'exploitant aurait à gérer des incertitudes quant au régime hydrologique à cause d'un climat différent, mais vraisemblablement plus avantageux en raison de l'augmentation anticipée des précipitations. De plus, le potentiel éolien élevé de la région (Environnement Canada, 2007a) favoriserait le développement de la filière éolienne en complément à la production électrique des centrales diesels dans quelques collectivités, assurant du même coup la diversification de l'approvisionnement et une réduction de la dépendance aux combustibles fossiles coûteux, lesquels doivent être transportés par bateau. Même en ne contribuant que pour une faible part à réduire les émissions de GES, la production éolienne représenterait un argument politique de poids, car les Inuits participeraient de toute façon à la réduction des émissions de GES en réduisant de beaucoup leur recours aux combustibles fossiles.

## **Stratégies d'adaptation**

Les nouvelles connaissances sur le pergélisol qui se trouve sous les infrastructures, ainsi que l'application de solutions et de pratiques en matière de génie civil, aideront à gérer les impacts du changement climatique sur les aéroports, les routes et les bâtiments (Allard *et al.*, 2002b). Quant à la consolidation et au maintien de l'intégrité des infrastructures bâties sur le pergélisol, diverses solutions sont à l'essai ou ont déjà démontré leur efficacité. Ainsi, la pénétration de chaleur dans les remblais peut être contrée par la convection d'air et l'installation de l'utilisation de techniques d'isolation et de surfaces réfléchissantes; ou encore, la chaleur peut être extraite des remblais au moyen de drains. La mise en place de géotextiles ou encore la consolidation et le rehaussement des infrastructures à risque peuvent également aider à diminuer les vulnérabilités (Beaulac et Doré, 2005).

Par ailleurs, la cartographie à grande échelle des conditions du pergélisol dans chaque village est un outil d'amélioration de la planification urbaine visant l'adaptation au changement climatique à long terme. Quoi qu'il en soit, les normes de construction et les prises de décisions devront désormais tenir compte du changement climatique (Allard *et al.*, 2004) afin d'empêcher l'augmentation des vulnérabilités.

L'accessibilité au territoire pour les activités traditionnelles fait l'objet d'une attention particulière de la part des autorités locales, telles que l'Administration régionale Kativik, sur le plan de la sécurité le long des voies terrestres (chemins de glace) ou sur les voies navigables (Bégin, 2006). En collaboration avec les collectivités locales, une étude est en cours pour déterminer les moyens de mieux anticiper et de mieux s'adapter aux nouvelles conditions de glace et de neige en hiver, en s'appuyant sur le réseau de stations météorologiques du nord (Lafortune *et al.*, 2005). Le faible nombre de stations météorologiques et la mauvaise qualité des séries chronologiques de données rendent actuellement difficile la validation des modèles utilisés, mais cette difficulté est en voie de disparaître avec l'installation de nouvelles stations climatiques par Environnement Canada.

Lors d'un atelier portant sur les états de la situation des projets régionaux qui s'est déroulé à Montréal le 6 octobre 2005, l'éducation et le développement d'outils de sensibilisation et d'information ont été identifiés comme des moyens importants de réduire la vulnérabilité des infrastructures au changement climatique. Aussi, les responsables de l'Administration régionale Kativik ont souligné la nécessité d'améliorer les données météorologiques et la capacité de prédire les événements extrêmes, notamment les risques de blizzards, les tempêtes, les coups de vent, le dégel brutal et le brouillard. Quant aux Inuits, ils ont mentionné, parmi leurs préoccupations, leur besoin de disposer d'une meilleure analyse des impacts du changement climatique sur les écosystèmes et la faune. À l'heure actuelle, les études visent surtout à définir les méthodes d'adaptation pour répondre à des problématiques liées à l'environnement bâti ou à l'aménagement de villages. Elles cherchent aussi, mais dans une moindre mesure, à mieux connaître les changements les plus importants reliés aux ressources et aux activités traditionnelles de chasse, de pêche et de cueillette.

## ÉTUDE DE CAS 1

### Des impacts à l'adaptation : l'étude de cas de Salluit

Afin de pallier la dégradation accélérée du pergélisol qui a lieu à Salluit, et atténuer les conséquences sur les infrastructures, le Centre d'études nordiques et Ouranos poursuivent le développement d'un modèle géologique et géothermique qui intègre l'ensemble des facteurs pouvant toucher la stabilité des sols. La partie de l'étude déjà réalisée fournit une cartographie (voir la figure 13) par couches d'information, qui permet d'identifier les sols sensibles et d'optimiser l'aménagement du territoire en tenant compte des impacts du changement climatique (Allard *et al.*, 2004). Dans l'ensemble des collectivités, les pratiques d'aménagement actuelles, y compris le maintien du drainage urbain, les méthodes de déneigement, le dessin des nouvelles rues et les concepts de fondations, devraient faire l'objet d'une révision en vue de limiter les impacts du changement climatique sur le terrain. Certaines décisions prises récemment devront peut-être être revues, comme le pavage des rues qui est susceptible d'accroître les transferts de chaleur dans le pergélisol, ce qui constitue une mauvaise adaptation. Diverses méthodes d'adaptation issues du génie civil, telles que les remblais à convection, les drains de chaleur et les surfaces réfléchissantes, feront l'objet d'expériences à Salluit dans le cadre d'un projet visant à évaluer leur rapport coût/efficacité, compte tenu des conditions prévalant dans les zones étudiées (Doré et Beaulac, 2005).

Carte de classification du potentiel d'aménagement des terrains à Salluit

- Recommandable
- Peu recommandable
- Très peu recommandable
- Non recommandable



**FIGURE 13 :** Carte de la vulnérabilité et de la capacité d'accueil du terrain en regard de la construction d'infrastructures. Exemple de Salluit dans le Nunavik, au Québec (Solomon-Côté, 2004).

En résumé, la forte augmentation de la démographie régionale, le développement urbain conséquent ainsi que les changements liés à l'accès aux ressources et aux activités traditionnelles de chasse, de pêche et de cueillette sont principalement à l'origine d'une mutation socio-économique délicate aux multiples facettes. L'accélération de la fonte du pergélisol et les modifications climatiques accentuées augmentent les enjeux et en accélèrent le rythme d'évolution.

## 3.2. SOUS-RÉGION CENTRALE

Dans la sous-région centrale, l'environnement est caractérisé par la présence de la forêt boréale ainsi que de nombreux lacs, rivières et réservoirs (voir la figure 12). Alors que la saison froide prédomine dans la sous-région nord et que la chaude prédomine dans la sous-région sud, la durée de ces deux saisons se rapproche davantage dans le cas de cette région centrale. La neige est généralement beaucoup plus abondante dans l'est en raison de nombreuses tempêtes hivernales provenant de la côte est américaine. La densité de la population est faible et en décroissance, les économies locales dépendent souvent d'une seule industrie, mais l'activité économique du secteur primaire générée par l'exploitation des ressources naturelles (eau et forêt) stimule cependant la vigueur de l'économie de l'ensemble du Québec. Cette sous-région est appelée par Ouranos (2004) « région ressource » et, pour cette raison, les sensibilités au changement climatique de la forêt et de la ressource hydrique sont abordées ici.

### 3.2.1. Forêts

Depuis la dernière glaciation, la forêt du Québec a évolué sous un climat rigoureux conjugué à une dynamique des perturbations naturelles, ce qui a mené à la formation, du sud au nord, de grandes

écozones forestières : l'érablière, la sapinière et la pessière. Le réchauffement climatique important constaté au cours du dernier siècle a déjà entraîné une modification de la dynamique entre le climat et la composition forestière (Forget et Drever, 2003). Le réchauffement appréhendé accélérera davantage la rupture de cet équilibre et entraînera des modifications de la composition et de la productivité des peuplements forestiers. La dynamique des perturbations naturelles (feux et insectes) et la fréquence des événements météorologiques extrêmes (sécheresses et verglas) sont également appelées à changer.

### Croissance et productivité

Une augmentation de température peut agir directement sur la physiologie et le métabolisme et peut aussi se traduire par un allongement de la saison de croissance. Les signes d'un allongement de la saison de croissance sont déjà perceptibles. Bernier et Houle (2006) ont estimé que la date de débourrement de l'érable à sucre serait devancée de quelques jours depuis une centaine d'année, et Colombo (1998) a rapporté des résultats similaires pour l'épinette blanche. En Alberta, la date de floraison du peuplier faux-tremble serait devancée de 26 jours depuis les 100 dernières années (Beaubien et Freeland, 2000). En Europe, la saison de croissance de plusieurs espèces végétales s'est allongée de 11 jours depuis seulement 1960 (Menzel et Fabian, 1999).

Les résultats préliminaires de modèles de prédiction de croissance selon un scénario de doublement du CO<sub>2</sub> (2 x CO<sub>2</sub>) semblent indiquer une augmentation de la productivité primaire nette des forêts de l'est du Canada, alors que celles de l'ouest seraient touchées de la manière contraire (Price et Scott, 2006). La plupart des modèles sont cependant basés sur les relations entre le climat et la croissance propres à diverses essences et ne tiennent pas compte des

facteurs potentiellement défavorables à la productivité. Le portrait plutôt positif du Québec doit être considéré comme un scénario optimiste, duquel des pertes potentielles devront être soustraites. Ainsi, l'émergence d'espèces exotiques ou de conditions de sécheresse plus fréquentes résultant d'une augmentation de l'évapotranspiration chez les végétaux pourraient annuler les gains de croissance (Kirschbaum, 2000; Johnston et Williamson, 2005).

Une hausse de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère aurait un effet fertilisant sur les forêts, entraînant une augmentation de la productivité primaire nette (Ainsworth et Long, 2005; Price et Scott, 2006). Des productivités accrues ont déjà été constatées dans les hautes et moyennes latitudes entre 1980 et 1999 (Nemani *et al.*, 2003), pour l'épinette noire à la limite nordique de son aire de répartition dès les années 1970 (Gamache et Payette, 2004) et pour le peuplier, dont la biomasse moyenne aurait augmentée jusqu'à 33 p. 100 (Gielen et Ceulemans, 2001). Toutefois, certaines études semblent indiquer que les gains seraient annulés après quelques années à cause de l'acclimatation aux nouvelles concentrations de CO<sub>2</sub>, (Gitay *et al.*, 2001), ou limités en raison de la présence d'éléments nutritifs (Drake *et al.*, 1997) et d'autres facteurs (Kirschbaum, 2000; Johnston et Williamson, 2005).

## Migration

Les analyses selon un scénario de 2 x CO<sub>2</sub> des différents biomes révèlent des déplacements d'aires géographiques importants aussi bien en latitude qu'en altitude, comme on l'a constaté dans les Rocheuses, en réaction à l'augmentation de la température moyenne de 1,5 °C au cours des 100 dernières années (Luckman et Kavanagh, 2000). La migration devrait néanmoins prendre plusieurs siècles puisque la capacité de dispersion demeure limitée. Par exemple, une hausse appréhendée de la température moyenne annuelle de 3,2 °C d'ici à 2050 (*voir* le tableau 2) pour la sous-région centrale provoquerait un déplacement des zones climatiques de 515 km vers le nord, correspondant à une vitesse de 10 km par an, soit une vitesse nettement supérieure aux vitesses de migration des arbres qui ne dépassent pas 500 m par an. La migration ne se ferait probablement pas par groupements d'espèces, compte tenu des vitesses de dispersion et des réponses physiologiques différentes selon les essences, et ce, aussi bien pour l'épinette noire et le pin gris (Brooks *et al.*, 1998) que pour les espèces en forêt mixte (Goldblum et Rigg, 2005). Enfin, la fertilité des sols pourrait limiter le déplacement des arbres, puisque les besoins en éléments nutritifs de la forêt varient selon les peuplements (érablière > sapinière > pessière; Houle, communication personnelle, 2006).

## Perturbations

Le régime des perturbations naturelles joue un rôle important dans le façonnement du paysage forestier : il a un effet sur la composition, la structure et les processus inhérents aux écosystèmes. Ces perturbations comprennent les proliférations d'insectes, les feux de forêts, les maladies et les conditions climatiques extrêmes, telles que la sécheresse, le verglas et les vents violents. Un changement de conditions climatiques influencera la gravité, la fréquence et l'étendue de ces perturbations.

Le cycle vital court et la facilité des insectes à se déplacer leur permettraient de s'établir à des latitudes plus élevées à la faveur d'hivers plus doux, bien que la diminution de l'épaisseur du couvert nival puisse causer chez certaines espèces un rétrécissement de leur

aire de répartition (Ayres et Lombardero, 2000). Il est toutefois difficile de prédire la réaction d'un insecte donné en raison des différences biologiques entre les espèces concernant la saisonnalité, les réactions thermiques, la mobilité et les plantes hôtes (Logan *et al.*, 2003). En se basant sur une modélisation à l'échelle du paysage, Régnière *et al.* (2006) ont révélé que la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) verrait son aire de répartition augmenter de façon importante et que le Québec verrait la spongeuse (*Lymantria dispar* [L.]) s'étendre au sud, le dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae* [Hopk.]) s'étaler d'ouest en est dans la forêt boréale et le longicorne asiatique (*Anoplophora glabripennis* [Motschulsky]) s'installer sur les érables, les ormes et les peupliers (Cavey *et al.*, 1998; Peterson et Scachetti-Pereira, 2004). À cela s'ajoutent l'introduction et l'établissement de nouvelles espèces exotiques dues à la mondialisation des échanges commerciaux et la diminution du temps de transit des marchandises (Ayres et Lombardero, 2000).

Pour ce qui est de la fréquence future des feux de forêts, une certaine incertitude persiste. En effet, alors que la plupart des modèles climatiques prédisent une augmentation des incendies pour l'hémisphère nord du fait de l'allongement de la saison de croissance et de l'augmentation de l'occurrence de la foudre (Wotton et Flannigan, 1993), la situation serait plus variable pour le Québec car, à cause de précipitations plus abondantes (Flannigan *et al.*, 2001), la fréquence des incendies augmenterait dans l'ouest et le nord, diminuerait à l'est et demeurerait constante au centre (Bergeron *et al.*, 2004) de la province. Selon un scénario de 3 x CO<sub>2</sub>, Flannigan *et al.* (2005) estiment que la superficie brûlée augmenterait de 74 p. 100 à 118 p. 100. Les différences entre ces études découlent d'une fiabilité moindre des prédictions régionales reliées aux grandes écozones et de l'absence de considération des interactions potentielles avec d'autres perturbations (p. ex., proliférations d'insectes). Une grande incertitude subsiste également relativement à la fréquence, à l'ampleur et à l'intensité des événements extrêmes (vents violents, ouragans, tempêtes de verglas) par rapport aux forêts décidues (Cohen et Miller, 2001; Hooper *et al.*, 2001).

Une diminution de la durée de l'hiver a des impacts directs et immédiats sur les activités forestières et leur planification : la période d'accès aux sites (chemins d'hiver) est réduite et la saisonnalité des emplois, accentuée. Ce type d'impact direct intéresse les entreprises forestières, tout comme la diminution de l'épaisseur, la discontinuité ou la fonte précoce du couvert nival qui sont devenues des questions préoccupantes dans le cas des forêts de la sous-région sud. Le sol exposé à l'air ambiant est sujet au gel, causant des dommages importants aux racines des arbres, et ayant une incidence sur leur croissance (Boutin et Robitaille, 1995).

## Stratégies d'adaptation

Les mécanismes d'adaptation présentent différents aspects. On peut, entre autres, évoquer l'adaptation aux effets anticipés d'un point de vue opérationnel ou encore dans la planification stratégique. On pourrait aussi passer de stratégies très concrètes concernant la mesure selon laquelle les chemins forestiers sont praticables ou des modifications à la machinerie, surtout dans les zones dépendantes des opérations hivernales, jusqu'à des considérations plus globales telles que la prise en considération des effets anticipés du changement climatique dans la planification stratégique de l'aménagement forestier. En intégrant les scénarios climatiques et

les connaissances sur la fertilité et les caractéristiques des sols forestiers, l'aménagement forestier pourrait favoriser l'adaptation au changement climatique.

Certaines pistes d'adaptation apparaissent incontournables, comme l'utilisation de semences mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques aux fins de reboisement, bien que seulement 15 p. 100 des superficies coupées soient actuellement reboisées. Cette mesure nécessite, cependant, que l'on dispose de bonnes prédictions climatiques régionales.

Pour ce qui est des feux de forêt, il existe déjà un ensemble de mesures d'adaptation, comme une surveillance accrue, un système d'alerte efficace et une amélioration des coupes de récupération (Wotton *et al.*, 2003). Ces adaptations pourraient ne pas suffire pour réduire l'impact du changement climatique sur le régime des feux si ces derniers venaient à augmenter de façon importante.

Étant donné la grande superficie couverte par la forêt au Québec, des mesures d'adaptation à grande échelle sont difficilement applicables. De plus, les incertitudes entourant les impacts potentiels du changement climatique sur la forêt en général, et plus spécifiquement à l'échelle régionale, limitent la mise en œuvre de mesures très précises à court terme.

En résumé, le changement climatique aurait pour effet d'allonger la période de croissance et de favoriser la migration vers le nord des zones de végétation. La fréquence et l'intensité des perturbations naturelles, comme la prolifération d'agents pathogènes et d'insectes ravageurs, augmenteraient, de même que les conditions climatiques extrêmes. Les stratégies d'adaptation visant à atténuer ces impacts, compte tenu de l'importance du domaine forestier au Québec, sont peu nombreuses à l'heure actuelle, et seraient mises en place au cas par cas, selon les caractéristiques biophysiques et socio-économiques des régions.

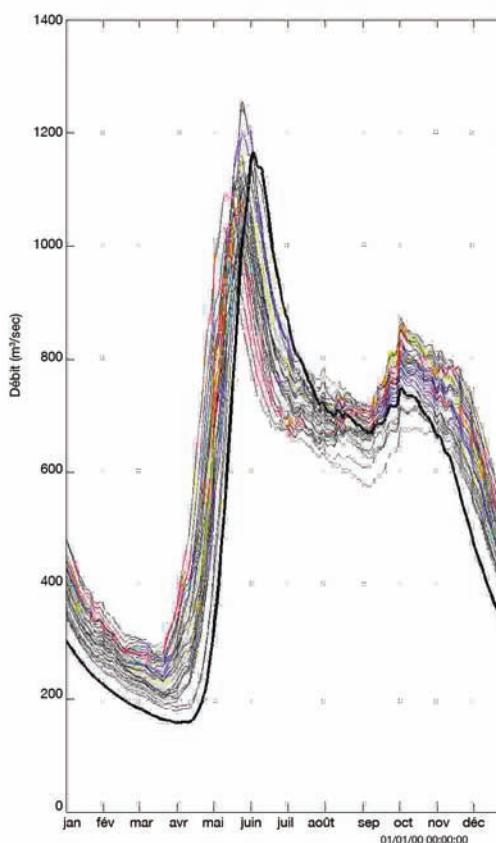
### 3.2.2. Production hydroélectrique

Au Québec, le secteur énergétique occupe une place prépondérante dans l'économie. L'électricité provient principalement de centrales hydroélectriques (96 p. 100) ainsi que de quelques centrales thermiques (pétrole, gaz naturel ou biomasse) et d'une centrale nucléaire, Gentilly-2. La puissance installée atteint 42 950 mégawatts (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006c). Or, 80 p. 100 de cette puissance installée se trouve au nord du 49<sup>e</sup> parallèle et trois grands complexes hydroélectriques (Bersimis-Manic-Outardes, La Grande et Churchill Falls au Labrador) exploitent de vastes réservoirs (Institut national de recherche sur les eaux, 2004) afin de satisfaire la plus grande portion de la demande québécoise. Au nord, les centrales à réservoir représentent 95 p. 100 de la puissance installée, alors qu'au sud, les centrales au fil de l'eau représentent 95 p. 100 de la puissance installée, ce qui justifie qu'on distingue les impacts anticipés du changement climatique sur ces deux types de centrales. Il est également important de préciser que l'évolution du régime hydrologique dépend à la fois de l'évolution du régime des précipitations et des variations du régime thermique. En effet, la variation des températures est susceptible d'avoir une incidence sur les conditions d'évapotranspiration et d'évaporation des bassins versants et, par conséquent, d'intervenir de manière importante dans le cycle hydrologique (Guillemette *et al.*, 1999; Allen et Ingram, 2002).

Pour la partie nord de la sous-région centrale, tous les modèles climatiques présentent des températures plus chaudes et des précipitations plus abondantes. Les considérations suivantes ont été élaborées en relation avec des scénarios climatiques régionaux mais, étant donné le niveau d'incertitude, elles doivent être traitées avec circonspection.

Un régime thermique modifié entraînerait une réduction des précipitations sous forme solide et du couvert de neige. Il causerait aussi une augmentation du taux d'évapotranspiration durant la période d'eau libre, qui serait néanmoins compensée par une hausse importante des précipitations générales, résultant en une hausse du niveau des réservoirs.

L'hydrogramme anticipé (*voir* la figure 14) a été produit en alimentant un modèle hydrologique à partir de données climatiques constatées altérées en fonction de différences de températures et de précipitations, telles qu'elles sont suggérées par différents scénarios climatiques issus de modèles de circulation générale. On peut déduire, à partir de cette figure, que les apports naturels futurs seraient plus soutenus en hiver (de novembre à avril), que la pointe de la crue printanière serait devancée de deux à trois semaines, que le volume de la crue serait probablement réduit et que les apports estivaux seraient probablement moins considérables en raison d'une augmentation importante de l'évapotranspiration. Il faudrait envisager de réajuster le mode de gestion des réservoirs annuels, puisque ces derniers seraient alimentés plus tard en début d'hiver



**FIGURE 14 :** Hydrogrammes annuels moyens simulés pour un bassin versant du nord québécois, à l'aide d'observations climatiques (trait gras : 1960 à 2002) et de projections climatiques (traits fins : 2041 à 2070) provenant de neuf modèles qui ont recours à plusieurs scénarios différents (Ouranos, 2007).

par davantage de précipitations à l'état liquide, tandis que les crues seraient hâties et moins importantes. Le nouveau régime climatique aurait un effet régulateur naturel plus grand sur une base annuelle, rejoignant ainsi les conclusions avancées par les travaux de Slivitzky *et al.* (2004) utilisant les premières versions du MRCC.

Étant donné que la série des apports annuels (*voir* la figure 15) ne montre aucun changement de moyenne, de cycle ou de tendance du point de vue statistique, il a été convenu par Hydro-Québec, à des fins de planification d'équipements de production futurs, que la valeur moyenne des apports sur la période historique serait observée pour les prochaines années. Cependant, les scénarios climatiques disponibles montrent, sur une période de 50 ans, une tendance à la hausse des valeurs d'apports annuels moyens jumelée à des variations interannuelles plus grandes pour la sous-région, ouvrant une brèche dans l'hypothèse d'état stationnaire.

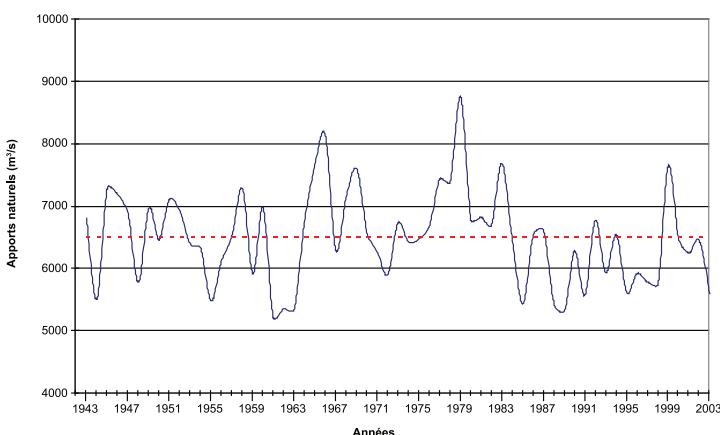
Par ailleurs, les périodes où les températures oscillaient autour de 0 °C seraient plus fréquentes; ces périodes de l'année correspondent d'ailleurs à un niveau de remplissage élevé des réservoirs. En effet, les besoins importants de chauffage durant l'hiver nécessitent que les réservoirs soient remplis au début de l'hiver afin d'assurer une production d'électricité soutenue durant toute la saison froide. C'est précisément à cette période de l'année que les températures oscillant autour de 0 °C auraient pour effet, soit de limiter les apports (précipitations sous forme de neige), soit de les augmenter, si les précipitations étaient sous forme liquide et qu'elles s'écoulaient sur un sol gelé ou recouvert d'une mince couche de neige. Ces conditions particulières exigeraient une révision des stratégies de remplissage des réservoirs de façon à limiter les risques de déversements non productibles, dont les conséquences financières sont considérables (Forget, 2007). Toutefois, si ces événements pluvieux se produisaient plus tard en hiver, durant les périodes de redoux, au moment où le couvert nival est plus important, la pluie serait absorbée par la neige et l'impact sur l'écoulement serait limité, d'autant plus que le niveau des réservoirs serait plutôt réduit en raison d'une production d'électricité intensive à cette période de l'année.

Malgré le faible niveau de certitude, une augmentation de la fréquence des événements extrêmes associés au cycle de l'eau est envisagée. Une hausse de la fréquence des orages intenses, qui génèrent beaucoup de précipitations en un court laps de temps, demanderait qu'une attention particulière soit portée aux installations touchées et aux déversements non productibles plus fréquents. Mises à part les conséquences économiques que de telles situations induiraient, du moins la sécurité des ouvrages et des populations ne serait pas menacée. Par contre, dans le sud du Québec où une population dense vit à proximité des berges et des centrales au fil de l'eau, il faudrait montrer plus de vigilance. Il faudrait aussi en savoir davantage sur la fréquence et l'ampleur des événements extrêmes éventuels afin d'orienter les travaux de conception des nouveaux équipements, les équipements actuels ayant été conçus en fonction de critères de sécurité s'appliquant à des événements extrêmes passés.

### Stratégies d'adaptation

Au Québec, la méconnaissance du régime hydrologique à venir préoccupe les gestionnaires des ressources hydriques et les enjeux économiques afférents sont élevés (Hydro-Québec, 2006). Il est cependant permis d'envisager différents éléments de stratégies d'adaptation couvrant un éventail de scénarios plus large quant à la hausse ou à la baisse des apports naturels. Les incertitudes élevées entourant les prévisions à long terme des apports naturels dans le nord du Québec ne permettent pas de statuer sur des mesures d'adaptation à mettre en œuvre rapidement. Compte tenu qu'Hydro-Québec possède une importante capacité financière et technique afin de faire face à tout enjeu, le choix des bonnes stratégies passe par l'amélioration des scénarios climatiques et une meilleure compréhension de leurs conséquences sur le régime hydrologique. En outre, vu l'étendue des terres humides dans le nord du Québec (15 p. 100 de la superficie de la région boréale est constituée de tourbières), une meilleure compréhension de leur rôle dans le bilan hydrologique apparaît nécessaire (Payette et Rochefort, 2001).

Par ailleurs, le potentiel hydroélectrique aménageable demeure considérable au Québec mais les impacts du changement climatique sur la disponibilité éventuelle des ressources hydriques devraient être considérés au moment de sélectionner les régions favorables à ce développement hydroélectrique, tout comme il faudra éventuellement en tenir compte dans l'élaboration des critères de conception des installations. À titre d'exemple, un régime hydrologique annuel plus régularisé entraînerait une capacité plus limitée d'emmagasinement des réservoirs, et une variabilité interannuelle plus grande justifierait le besoin de plus grands réservoirs afin de contrer les impacts de déficits hydrauliques étalés sur plusieurs années. Une solution permettant de réduire les risques reliés à des conditions hydrologiques incertaines est la diversification des sources d'électricité et l'intégration progressive au réseau de transport de la production éolienne, même si les régimes des vents, dans un contexte de changement climatique, sont aussi peu connus et subissent possiblement des influences. Pour ce qui est des installations de transport d'électricité, à la suite de la crise du verglas de 1998, les critères de conception ont été révisés de manière à rendre le réseau de transport (conducteurs et pylônes) moins vulnérable aux intempéries (Hydro-Québec, 2006).



**FIGURE 15 :** Distribution des apports annuels moyens des bassins versants amenagés à des fins de production hydroélectrique au nord de 49° par rapport à la valeur moyenne (pointillé rouge) des apports (Ouranos, 2004).

### 3.3. SOUS-RÉGION MARITIME

La sous-région maritime comprend l'estuaire et une partie du golfe du Saint-Laurent, dont la Côte-Nord, le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie, les Îles-de-la-Madeleine et l'île d'Anticosti. La population de cette sous-région est passée de 430 000 personnes en 1971 à 395 000 personnes en 2004, et de 7,1 p. 100 à 5,3 p. 100 de la population totale du Québec (Statistique Canada, 2005). Plus du tiers de cette population, estime-t-on, vit à moins de 500 m des berges du Saint-Laurent et plus de 90 p. 100, à moins de 5 km. Les collectivités de la sous-région maritime sont généralement tributaires de la zone côtière quant à leur bien-être et à leur sécurité sur les plans économique et social, les collectivités de l'intérieur des terres s'apparentant davantage à celles de la sous-région centrale. Les principales industries (tourisme, pêche, pâtes et papiers, foresterie, alumineries et mines ainsi que transport maritime) dépendent d'infrastructures essentielles situées souvent dans la zone côtière (les routes provinciales 132, 138 et 199 de même que les ports) et des ressources de cette zone (plages, lagunes, marais côtiers). Une bonne partie de ces infrastructures est touchée par les processus climatiques et hydrodynamiques qui agissent sur la dynamique des berges. En ce qui a trait aux agglomérations, la plupart des villages côtiers ont été bâties sur les dépôts friables faiblement consolidés qui bordent les côtes. La valeur du patrimoine bâti menacé par l'érosion d'ici 30 ans est importante : uniquement pour la Côte-Nord à l'est de Tadoussac, plus de 50 p. 100 des bâtiments des collectivités côtières abritant près de 100 000 personnes sont à moins de 500 mètres de la rive (Dubois *et al.*, 2006).

La géologie de la sous-région maritime se caractérise par la présence d'une forte proportion de dépôts meubles friables, pouvant s'éroder facilement sous l'action des processus hydrodynamiques de faible à moyenne énergie. À titre d'exemple, la Côte-Nord est essentiellement couverte de silts argileux postglaciaires surmontés de sables deltaïques, le tout reposant en discordance sur les formations granitiques précambriennes du Bouclier canadien (Comité d'experts de l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006). Ces dépôts meubles non consolidés, dont l'épaisseur peut atteindre une centaine de mètres, s'avancent dans le golfe et forment des deltas d'estuaires, des terrasses et des plages. Quant à la Gaspésie et aux îles-de-la-Madeleine, leurs formations rocheuses appalachianes sont constituées de grès et de schistes argileux faiblement consolidés, s'érodant facilement sous l'action du gel, du dégel, de la pluie et des processus hydrodynamiques qui attaquent le pied des talus, processus qui provoque régulièrement des éboulements et des glissements de terrain. L'érosion fluviale et marine de ces roches friables libère du sable et du gravier, à l'origine de nombreuses plages et des flèches sableuses abritant des lagunes ou des barachois. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, de grands marais côtiers abritent ou servent de haltes migratoires à de nombreuses espèces animales. Dans certains cas, comme celui de l'oie sauvage, la majeure partie de la population mondiale se concentre dans cette zone pendant les migrations bisannuelles.

#### Vulnérabilité des zones côtières

Les zones côtières sont généralement vulnérables au changement climatique, et les rives du golfe du Saint-Laurent ne font pas exception. L'une des principales causes de cette vulnérabilité

croissante est l'élévation du niveau des océans. Ce dernier engendre une augmentation des taux d'érosion, des risques d'inondation et d'infiltration d'eau salée dans la nappe phréatique ou, tout au moins, dans une prise d'eau municipale (Villeneuve *et al.*, 2001), ce qui constitue une menace pour les populations vivant à proximité de la ligne des hautes mers (Neumann, 2000; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001b; Zhang *et al.*, 2004). Bien que certaines études (Mörner, 2003) aient remis en question la réalité d'une hausse du niveau des mers, la plupart des modèles et des études anticipent une hausse de 18 à 59 cm au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). L'élévation du niveau de la mer varie, bien entendu, selon le taux de fonte des glaciers et calottes de glaces, ainsi qu'en fonction du réchauffement des eaux océaniques (une eau plus chaude prend de l'expansion), mais il varie aussi selon le taux du mouvement vertical de la croûte terrestre (relèvement isostatique), mesuré localement, et selon des facteurs qui modulent le niveau moyen de la mer (densité de l'eau de mer, constante gravimétrique locale et pression atmosphérique moyenne).

Dans le golfe du Saint-Laurent, McCullough *et al.* (2002) ont passé en revue les taux historiques de variation du niveau moyen de la mer à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), montrant que le niveau moyen a augmenté de 2,0 à environ 3,2 mm par année entre 1911 et 2000. La partie nord du golfe est en émergence à un taux qui tend à annuler l'effet de l'élévation du niveau de la mer. Une étude récente des taux historiques de variation du niveau de la mer dans le golfe (Xu *et al.*, 2006) a souligné la complexité des tendances constatées dans cette sous-région. Néanmoins, elle met aussi en relief une hausse importante de la fréquence des surcotes de tempêtes dans la région de Québec et dans la région sud du golfe pendant le XX<sup>e</sup> siècle. Cette tendance est confirmée par une analyse des surcotes pour l'ensemble du golfe faite à l'aide d'un modèle numérique (Daigle *et al.*, 2005). En se basant sur une hausse moyenne du niveau de la mer de 20 cm en 2050, Lefavire (2005) a estimé que le taux net d'élévation du niveau de la mer sera de 14 cm à Québec et Rimouski d'ici à 2050. Même si cette variation du niveau moyen de la mer semble peu importante, l'étude de Xu *et al.* (2006) a indiqué que cette hausse pourrait réduire par un facteur de plus de trois tout le spectre des périodes de retour des surcotes à Rimouski.

Plusieurs autres facteurs climatiques peuvent avoir une incidence sur l'érosion des berges, dont la diminution de la période d'englacement et de la couverture de glace de mer (Bernatchez et Leblanc, 2000), ainsi que l'augmentation de l'activité cyclonique (Forbes *et al.*, 2004) et de la fréquence des cycles de gel-dégel. Les glaces peuvent contribuer à réduire l'érosion des berges en atténuant les vagues et en formant un écran protecteur qui stabilise les plages et les talus. Les premiers essais de modélisation des vagues à l'aide d'un modèle couplé climat-atmosphère à l'échelle régionale (Saucier *et al.*, 2004) prévoient une réduction de 60 p. 100 de la durée des glaces de mer vers 2050 et leur disparition totale avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Les plages seraient donc exposées aux tempêtes de l'hiver, en plus de celles de l'automne. Les données recueillies par le Comité d'experts sur l'érosion des berges de la Côte-Nord (Dubois *et al.*, 2006) ont démontré que les taux d'érosion ont fortement augmenté aux cours des dix dernières années, période pendant laquelle la couverture de glace dans le golfe, en particulier à la hauteur de la Côte-Nord, était beaucoup plus faible que la moyenne (Environnement Canada, 2007b).

Pour ce qui est de l'activité cyclonique, elle a un effet sur l'érosion des berges de deux manières. D'abord, l'intensité et la fréquence des tempêtes peuvent varier selon les conditions climatiques et modifier le nombre de surcotes causées par l'effet de baromètre inversé et le vent sur certaines côtes. Ensuite, l'organisation des systèmes cycloniques (provenance et trajectoires de dépressions) modifie le régime des vagues (hauteur, fréquence, direction) dans le golfe, ce qui a un effet sur la dérive littorale et le bilan sédimentaire des plages. Dans de nombreux cas, ces modifications peuvent prendre la forme d'un rehaussement ou d'un abaissement des plages, ayant pour effet d'augmenter ou de réduire la protection des talus contre l'érosion résultant des surcotes et des vagues. Daigle *et al.* (2005) ont mis en évidence d'importantes variations des extrêmes de températures et de précipitations entre 1941 et 2000 dans le golfe. Diaconescu *et al.* (2007) ont démontré que le régime des vents a changé au cours de cette période. Ces études révèlent que les changements ayant une incidence sur les conditions extrêmes se traduisent aussi par une réorganisation du transport des sédiments, ce qui expliquerait une partie des fluctuations des taux d'érosion des berges constatées dans plusieurs régions du golfe.

Les talus argileux de la Côte-Nord, ainsi que les falaises de grès friables des Îles-de-la-Madeleine et de la Baie-des-Chaleurs, sont sensibles à la gélification. Une augmentation du nombre de périodes de redoux hivernaux activerait l'érosion de ces falaises (Bernatchez et Dubois, 2004). D'autres facteurs climatiques peuvent aussi toucher de manière indirecte l'érosion des berges. L'augmentation des redoux hivernaux et la diminution de la quantité de neige ont pour effet d'étaler et de diminuer l'intensité des crues printanières. La diminution des crues favorise la capture du sable du front de mer dans les estuaires et les deltas côtiers, ce qui modifie le bilan sédimentaire des plages attenantes. L'absence de glace et de neige a également une incidence sur le bilan éolien et la formation des dunes de plages. Tous ces facteurs peuvent contribuer à déplacer l'équilibre des apports sableux, se traduisant par des modifications du taux d'érosion (Dubois, 1999).

## **Impacts du changement climatique et des activités anthropiques**

Bien que l'érosion côtière soit un processus naturel existant depuis toujours dans la sous-région maritime, la vulnérabilité des collectivités côtières a augmenté depuis quelques décennies et devrait croître davantage à l'avenir en raison du changement climatique imminent (Morneau *et al.*, 2001). Toutefois, certains facteurs qui expliquent la hausse de la vulnérabilité des collectivités sont d'origine anthropique. Morneau *et al.* (2001) ont remarqué une hausse du nombre des constructions en bordure des rives depuis 1970, résultant de l'engouement accru pour la zone côtière dû au développement du tourisme et à la disponibilité des méthodes de protection des berges.

Ces méthodes de protection des berges ont permis aux pouvoirs publics de sauvegarder les infrastructures et les zones résidentielles ou industrielles construites en zone côtière. Toutefois, les technologies utilisées pour la préservation des berges, qui consistent pour la plupart en protections linéaires en enrochement et en érection de murs verticaux (béton, palplanche, pierres et caissons de bois), sont mal adaptées et causent des répercussions environnementales résiduelles importantes. L'une de ces répercussions les plus importantes est un déficit en matériel

granulaire, tel que le sable, dans les zones protégées par un ouvrage. Sur la Côte-Nord, près de 40 p. 100 des talus actifs ont été protégés de l'érosion par des enrochements du pied de talus (Morneau *et al.*, 2001). L'effet cumulé de ces protections est de réduire de moitié les apports de sable issus de l'érosion des talus, ce qui a pour effet de provoquer l'affaissement des plages et l'augmentation de l'érosion des talus non protégés.

L'activité anthropique peut influencer les processus naturels qui agissent sur l'érosion des berges. À titre d'exemple, les modifications du régime hydrologique dues au détournement de rivières et à la présence d'installations hydroélectriques, le déboisement des berges, la destruction de la végétation des dunes par le passage de véhicules tout-terrain, les infrastructures côtières (jetées, quais, chenaux artificiels) ainsi que les égouts pluviaux municipaux, constituent autant d'activités et d'éléments qui peuvent modifier la dynamique sédimentaire et agir sur l'érosion des berges.

Quant aux enjeux liés au changement climatique associé aux zones côtières du golfe, ils sont élevés sur les plans économique, social et environnemental (Forbes, 1997). Le changement climatique augmentera considérablement la vulnérabilité des populations de cette sous-région, et ce, pour plusieurs raisons. D'abord, ces populations montrent déjà une vulnérabilité relativement à l'aspect socio-économique, ainsi qu'en témoignent les données sur la démographie, l'emploi, la croissance économique et autres indicateurs de stabilité économique et sociale. L'effondrement partiel des secteurs de la pêche et de l'exploitation forestière a déjà frappé durement cette sous-région. Dans ce contexte, les impacts futurs du changement climatique seront vraisemblablement négatifs et pourront varier selon la capacité d'adaptation préventive des populations concernées. Les tendances constatées sont cohérentes avec les conclusions avancées au chapitre consacré au Canada atlantique (*voir le chapitre 4*) et étroitement liées aux impacts sur l'écosystème marin, qui sera traité ci-après. De plus, les collectivités côtières sont déjà touchées par l'érosion des côtes (Dolan et Walker, 2003; Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2003), un sujet traité régulièrement par les médias locaux. Par ailleurs, les coûts des pertes et dégâts occasionnés par l'érosion ainsi que des dommages causés aux infrastructures côtières sont en hausse depuis plusieurs années, et les projections indiquent qu'ils vont continuer d'augmenter rapidement si rien n'est fait pour corriger la situation.

En outre, le changement climatique agit sur plusieurs variables hydrodynamiques qui peuvent se conjuguer et causer une hausse importante du taux d'érosion et menacer l'intégrité des infrastructures côtières. Plusieurs de ces infrastructures, comme les routes, sont essentielles à l'ensemble de la population des régions touchées. Face aux problèmes de plus en plus fréquents et intenses posés par l'érosion et les événements extrêmes, les tendances constatées depuis quelques années indiquent que les résidents et les décideurs locaux réagissent généralement en appliquant des solutions improvisées (souvent dans des situations d'urgence), inappropriées et mal adaptées aux impacts à long terme. Le défi est maintenant de renverser cette tendance et amener les résidents et les décideurs à adopter une approche préventive à long terme en choisissant des stratégies et des méthodes d'adaptation qui minimisent les impacts indésirables sur l'environnement ou qui évitent d'empirer le problème (Klein *et al.*, 2001; Bruce, 2003; Parlee, 2004).

## ÉTUDE DE CAS 2

### Vers une gestion intégrée des zones côtières

La complexité des interactions anthropiques conjuguée à celle de la chaîne de causalité, qui relie le climat à l'érosion des berges, requiert une approche multidisciplinaire et globale pour faire face à cette problématique. Des études ont été amorcées en 1998 par le gouvernement du Québec, puis en 2002 par Ouranos, afin d'évaluer l'ampleur du problème de l'érosion des berges et d'estimer les impacts potentiels résultant du changement climatique (voir la figure 16). Ces études en cours comportent trois éléments : un suivi historique de l'évolution des berges du golfe du Saint-Laurent est en cours; une analyse détaillée, réalisée à l'aide de modélisation numérique à l'échelle régionale du climat et de l'hydrodynamique du golfe, permettra de mieux estimer la situation climatique future; un cadre de gestion intégrée des zones côtières, impliquant les collectivités et les décideurs locaux et régionaux qui seront appuyés par des scientifiques, est en voie d'instauration.

Une révision en profondeur des politiques et de la réglementation afférentes deviendra nécessaire par la suite (zonage municipal, schéma d'aménagement, gestion d'infrastructures essentielles, politiques de sécurité publique, méthodes de protection et réglementation). Les choix d'adaptation sont alors faits par des comités élus par l'assemblée des représentants des collectivités côtières.

Les outils d'adaptation en voie de développement sont des modèles numériques qui intègrent des données sur les circulations marines, les glaces, les vagues et les niveaux d'eau, et des systèmes de suivi et d'analyse de scénarios d'érosion. Il peut aussi s'agir de cartes montrant l'évolution du littoral sur 30 ans, selon des scénarios d'érosion qui tiennent compte des données disponibles, d'outils de communication et d'échange sur Internet, de documents mis à jour sur les méthodes de protection de berges ainsi que sur leurs impacts et leur efficacité. À titre d'exemple, la figure 16 a servi à l'adoption d'un règlement de contrôle intérimaire de gestion du littoral.

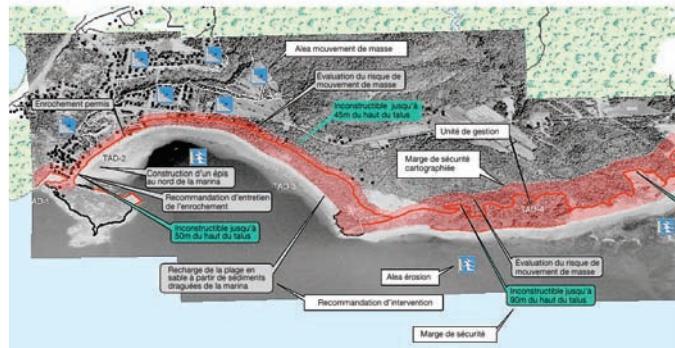


FIGURE 16 : Carte de zonage du risque d'érosion pour la Côte-Nord (tiré de Dubois et al., 2006).

Un aspect important de l'adaptation est le développement d'une expertise locale et régionale au sein des décideurs et des intervenants de première ligne dans la gestion de la zone côtière (National Institute of Coastal and Marine Management of the Netherlands, 2004). Les projets en cours sur l'impact et l'adaptation au changement climatique dans la zone côtière du Golfe du Saint-Laurent intègrent des comités formés de décideurs et d'intervenants afin de bâtir un noyau régional de personnes disposant des connaissances scientifiques et techniques les plus à jour sur les facteurs qui contrôlent l'érosion des berges et la dynamique côtière dans leur région. Ce projet, complété en 2008, tend à montrer l'importance d'une approche équilibrée entre les connaissances issues de la science du climat et celles issues de l'évaluation des vulnérabilités, processus et implications in situ, intégrant les intervenants et acteurs de la problématique dans la compréhension et la recherche des meilleures options d'adaptation.

## 3.4. SOUS-RÉGION SUD

La grande majorité de la population du Québec est établie dans le sud du territoire (voir la figure 17), où se déroule le gros de l'activité économique, bien que cette sous-région soit la plus petite des quatre. Les impacts du changement climatique y seraient potentiellement nombreux, variés et parfois complexes, étant donné les interconnexions entre les infrastructures et les activités socio-économiques. Les régions rurales vivent d'une économie primaire et de transformation fragile, pouvant être directement touchée par le climat alors que les régions urbaines dépendent d'une économie tertiaire, où le climat peut agir indirectement (p. ex., défaillance d'infrastructures lors de la crise du verglas en 1998).

### 3.4.1. Énergie

L'économie du Québec est associée à une forte consommation d'énergie en raison de la structure industrielle, du climat, de l'étendue du territoire et du style de vie. En 2002, le secteur industriel représentait 39 p. 100 de la demande en énergie, celui des transports, près de 25 p. 100 et les secteurs commercial,



FIGURE 17 : La sous-région sud présente des enjeux différents. Le paysage rural se caractérise par un environnement naturel aménagé ou géré (agriculture, sylviculture, résidences) dans lequel les bassins versants peuvent jouer un rôle d'unité de gestion. Les milieux urbains, en croissance, sont dominés par une grande quantité et une grande variété d'infrastructures reliées aux besoins d'une population croissante et vieillissante (Ouranos, 2004).

institutionnel et résidentiel correspondaient à 37 p. 100 de la demande (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2004).

Pour plus de 38 p. 100 de ses besoins énergétiques, le Québec a l'avantage de pouvoir compter sur une électricité à 96 p. 100 d'origine hydraulique et la demande atteignait 41,5 millions de tonnes équivalent-pétrole (tep) en 2002, en hausse de 6 p. 100 sur l'année 2001 (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2004).

Les impacts du réchauffement sur la demande énergétique correspondraient à des besoins de chauffage moindres en hiver et des besoins de climatisation accrus en été. Le rapport entre la température, le chauffage et la climatisation dans le secteur résidentiel est bien connu et a fait l'objet de nombreuses analyses au cours des dernières décennies (Lafrance et Desjarlais, 2006). Les connaissances sur les besoins de chauffage et de climatisation dans les secteurs commercial et institutionnel sont toutefois plus limitées.

Les besoins de chauffage résidentiel à l'horizon 2050 diminueraient de 21 p. 100 (Sottile, 2006) et ceux en climatisation augmenteraient de 12 p. 100 (*voir le tableau 5*), résultant en une diminution nette (8,8 p. 100) des besoins énergétiques (Lafrance et Desjarlais, 2006) et des économies non négligeables (*voir le tableau 6*).

En 2001, la part de la climatisation commerciale et institutionnelle était supérieure au secteur résidentiel. En 2050, la demande d'énergie baisserait en hiver de 14,3 p. 100 et les besoins de climatisation dans les secteurs commercial et institutionnel augmenteraient de 3 p. 100, soit une baisse nette de 5 p. 100 à 11 p. 100 de la demande totale.

Selon le scénario de référence, la demande en énergie (chauffage et climatisation) dans l'ensemble des secteurs serait réduite de 2 p. 100 à 3 p. 100 en 2050. Les économies annuelles accrues s'élèveraient à plusieurs centaines de millions de dollars. Pour les régions au sud du Québec, la demande de pointe estivale en

**TABLEAU 5 : Impact des changements climatiques sur le chauffage et la climatisation dans le secteur résidentiel (p. 100) (Lafrance et Desjarlais, 2006).**

Scénario	Impact (p. 100) sur le total			Impact (p. 100) sur la demande d'électricité		
	Chauffage	Climatisation	Net	Chauffage	Climatisation	Net
<b>2030</b>						
Optimiste	-7,5	3,4	-4,0	-5,8	4,3	-1,5
Médian	-11,0	4,4	-6,7	-8,6	5,5	-3,1
Pessimiste	-15,7	6,4	-9,2	-12,1	8,1	-4,0
<b>2050</b>						
Optimiste	-10,5	5,5	-5,1	-8,5	6,6	-1,9
Médian	-15,2	8,3	-6,9	-12,3	10,0	-2,3
Pessimiste	-21,1	12,3	-8,8	-17,1	14,8	-2,3

**TABLEAU 6 : Économies réalisées dans tous les secteurs (résidentiel, commercial, industriel) selon les scénarios démographiques, économiques et climatiques, en millions de dollars 2003, sans taxe.**  
Nota : Pour la définition des scénarios utilisés dans le tableau, *voir Lafrance et Desjarlais, 2006.*

Scénario de référence	Optimiste	Médian	Pessimiste
Résidentiel	2030	-197	-329
	2050	-229	-313
Commercial	2030	-77	-139
	2050	-104	-166
Industriel	2030	-56	-83
	2050	-82	-117
<b>Total</b>	2030	-330	-552
	2050	-415	-596

climatisation (entre 7 p. 100 et 17 p. 100) augmenterait, accentuant ainsi la vulnérabilité des réseaux de production, de transport et de distribution d'électricité, comme le rappelle la panne d'électricité (Black Out) de 2003 dans l'est de l'Amérique du Nord (sauf au Québec).

### Stratégies d'adaptation

La plantation d'arbres, l'utilisation de volets, l'utilisation de revêtements de surface à plus grande réflexion, le recours aux toits verts ou l'usage de systèmes de refroidissement à faible consommation d'énergie (ventilateurs et systèmes de climatisation par évaporation) amoindririaient la hausse des besoins en climatisation et augmenteraient le degré de confort des résidences sans climatisation. La durée de vie des habitations étant de plus de 50 ans, leur conception doit être adaptée de façon à y intégrer l'installation de systèmes de climatisation efficaces (Lafrance et Desjarlais, 2006). Il serait utile de mieux connaître les répercussions d'une fréquence accrue des événements climatiques extrêmes sur le comportement des réseaux électriques et d'étudier les conséquences de divers scénarios climatiques alternatifs (Lafrance et Desjarlais, 2006).

Les réseaux d'électricité du Québec desservant également les États-Unis, la production d'hydroélectricité représente une possibilité de développer de nouveaux marchés, tout en réduisant les émissions des centrales locales (Lafrance et Desjarlais, 2006).

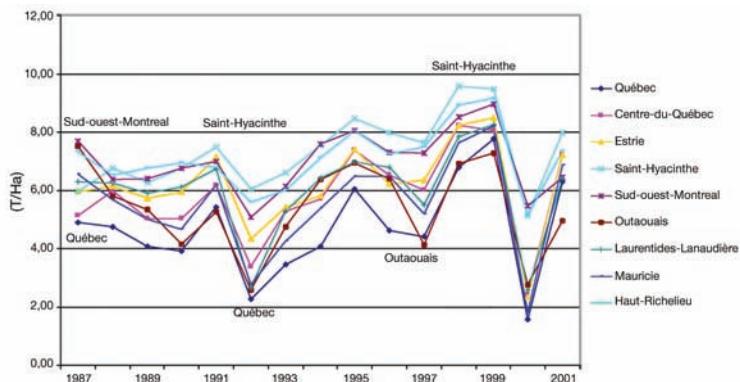
### 3.4.2. Agriculture

Les activités agricoles se concentrent essentiellement dans la sous-région sud, propice à l'agriculture grâce à son climat et à ses terres fertiles. Réagissant à différents facteurs socio-économiques, les superficies cultivées ont diminué depuis 1941, passant de 2,5 à 1,8 millions d'hectares en 2001 (Statistique Canada, 2002). Les activités agricoles continueront d'évoluer sous l'effet d'une multitude de facteurs, y compris celui du changement climatique, dont les impacts possibles peuvent se traduire aussi bien par des occasions d'affaires que par des pertes de revenus, tant sur le plan de la quantité que sur celui de la qualité de la production agricole, ainsi que sur l'utilisation des intrants (p. ex., eau, engrains, herbicides et pesticides).

## Situation agroclimatique actuelle

La durée de la saison de croissance des cultures est un facteur agroclimatique fondamental qui conditionne le choix des cultures et les rendements. Selon Yagouti *et al.* (sous presse), les degrés-jours de croissance ont augmenté de 4 p. 100 à 20 p. 100 entre 1960 et 2003 dans l'ouest et le centre du Québec méridional, rendant la saison plus favorable à la majorité des cultures.

La variabilité interannuelle climatique passée permet d'évaluer l'état de la sensibilité actuelle du secteur agricole par rapport aux conditions climatiques. Pendant la période s'étendant de 1967 à 2001 (*voir la figure 18*), la plus importante baisse de rendement du maïs a eu lieu en 2000, année marquée par une humidité excessive et un ensoleillement insuffisant pour en favoriser la croissance (Environnement Canada, 2002). En conséquence, il y a eu un niveau record d'indemnisations des assurances-récoltes pour le maïs, soit 97 millions de dollars en 2000, contre 191 000 \$ en 1999 (La Financière agricole du Québec, 2006). Pendant cette période, les sous-régions ont aussi montré des différences quant aux impacts de la variabilité climatique, en raison des différents environnements biophysiques – type de sol, topographie, température (Bryant *et al.*, 2005).



**FIGURE 18 :** L'évolution des rendements du maïs-grain tels qu'ils ont été rapportés par les agriculteurs dans leurs déclarations pour des indemnités, de 1987 à 2001, pour les différentes régions agricoles du Québec (Bryant *et al.*, 2007).

## Impacts du changement climatique sur l'agriculture québécoise

Une augmentation importante des indices thermiques et de la durée de la saison de croissance pour le maïs, le soya, les céréales du printemps et les plantes fourragères est prévue pour les années à venir (Bootsma *et al.*, 2004, 2005a, b). Par contre, l'orge serait moins favorisée par ces changements. Aussi, il existe une probabilité accrue de stress hydrique pendant la saison de croissance des cultures puisqu'en moyenne, les augmentations de précipitations possibles ne peuvent compenser l'évaporation accrue causée par les températures plus élevées. Puisque l'efficience de l'utilisation d'eau par les plantes augmente sous une atmosphère enrichie en CO<sub>2</sub> (Bunce, 2004), l'évaluation des impacts combinés de ces différents facteurs sur la productivité des cultures s'en trouve compliquée.

Par ailleurs, les excès d'eau sont aussi dévastateurs en agriculture. En plus des questions sur les apports en eau, les changements d'intensité et le ratio pluie/neige des précipitations sont également à considérer (Nearing *et al.*, 2004), car ces aspects ont une incidence sur le ruissellement, l'érosion des sols et la qualité de l'eau. Les choix d'adaptation des producteurs agricoles peuvent augmenter ces risques appréhendés, dans le cas d'un accroissement des superficies où la gestion des cultures laisse le sol exposé à l'érosion, ou les atténuer, dans le cas d'une progression dans les pratiques de conservation des sols ou dans la qualité de la gestion des ressources en eau (Madramootoo *et al.*, 2001).

Les productions horticoles sont particulièrement sensibles aux stress hydriques et thermiques. De telles conditions touchent également les productions animales; la perte d'eau moins 500 000 volailles en juillet 2002, malgré l'utilisation de systèmes de ventilation modernes, témoigne du danger que peuvent poser les vagues de chaleur.

Les conditions climatiques en dehors de la saison de croissance auront aussi des répercussions sur l'agriculture. D'après Rochette *et al.* (2004), il y aurait moins de risques de dommages dus aux premiers froids automnaux pour les arbres fruitiers, mais une plus grande probabilité de dommages dus aux pertes d'endurcissement. Pour les plantes fourragères, une diminution de la couverture de neige et une hausse des pluies hivernales augmenteraient les risques de mortalité en hiver, malgré des conditions automnales plus favorables à l'endurcissement (Bélanger *et al.*, 2002). Des conditions hivernales moins rudes auraient pour effet d'entraîner un plus grand gain de poids pour les bovins de boucherie élevés en plein air et de diminuer les besoins de chauffage pour les poulaillers et les porcheries.

Des modifications au niveau des populations d'agents pathogènes, des mauvaises herbes et des insectes sont inéluctables. Une évaluation de l'ampleur des impacts de ces éléments est cependant absente dans la plupart des études. Scherm (2004) a expliqué que cette lacune est due aux différences parfois importantes entre les scénarios climatiques, à l'existence des réponses non linéaires des systèmes biologiques aux paramètres environnementaux et à la capacité non prévisible des organismes de s'adapter génétiquement aux nouvelles conditions environnementales.

Ainsi, non seulement les interactions entre les facteurs climatiques sont nombreuses et complexes, mais aussi le rôle des agents décisionnels (producteurs, conseillers et autres intervenants) est crucial. Pour ces raisons, réaliser un portrait intégré des impacts et de l'adaptation potentiels du secteur agricole au changement climatique exige que l'on tienne compte de la situation décisionnelle des producteurs (Wall *et al.*, 2004). Le projet européen ACCELERATES (Assessing Climate Change Effects on Land use and Ecosystems; Rounsevell *et al.*, 2006) visait justement à intégrer divers modèles biophysiques et socio-économiques afin d'évaluer la sensibilité future des agroécosystèmes européens. Rounsevell *et al.* (2006) ont remarqué que les impacts les plus importants sont reliés aux scénarios économiques plutôt que climatiques et que la variabilité inhérente des résultats empêche de tirer des conclusions claires quant à l'avenir de l'agriculture. Le défi agricole est de bien définir les questions et les applications pertinentes des scénarios climatiques selon ses forces, et ses faiblesses mêmes, et d'y intégrer de façon appropriée les dimensions socio-économiques qui lui sont propres.

## **Stratégies d'adaptation**

### **Au niveau des entreprises agricoles**

Sur le terrain, les producteurs estiment posséder les outils et les moyens leur permettant d'adapter la gestion de leurs entreprises au changement climatique, du moins à moyen terme (André et Bryant, 2001; Bryant *et al.*, 2007). Dans le cas des élevages, il existe des recommandations susceptibles d'aider les producteurs à prendre soin des animaux pendant les périodes de chaleur afin de diminuer leur stress (Blanchard et Pouliot, 2003). Elles portent sur la densité des animaux à l'intérieur des bâtiments, sur leur alimentation et sur la ventilation et la brumisation des bâtiments; aussi, les élevages en plein air bénéficieraient davantage d'abris et d'abreuvoirs.

Quant aux cultures, les dates des semis et des récoltes seront adaptées à l'évolution de la saison de croissance. Les producteurs pourront aussi choisir des cultivars utilisés actuellement dans les régions plus au sud. Bien que la diversification des cultures soit souvent considérée comme une stratégie de gestion des risques liés au changement climatique, Bradshaw *et al.* (2004) ont conclu qu'en dépit de la diversification régionale de l'agriculture des prairies canadiennes constatée après 1994, les fermes elles-mêmes se sont spécialisées davantage.

Differentes pratiques agricoles, telles que l'établissement de bandes riveraines, la gestion des résidus au champ ainsi que les dates et les méthodes d'application des engrains, ont été élaborées afin de protéger la qualité de l'environnement. Elles seraient réévaluées et renforcées si l'intensité des événements hydrologiques, comme les précipitations et les inondations, augmentait. D'ailleurs, une saison de croissance plus longue favoriserait l'établissement des cultures de couverture qui protègent le sol contre les effets de l'érosion et le lessivage des éléments nutritifs après la récolte de la culture principale.

### **Au niveau des institutions**

Plusieurs programmes et règlements fixent les normes relativement aux pratiques agricoles. Il est à remarquer que les règles concernant la contenance des ouvrages de stockage des fumiers, les dates limites pour l'ensemencement, la récolte des cultures et l'épandage des fumiers ont toutes un lien avec les conditions climatiques anticipées. Au moment d'une révision de ces normes, il serait opportun de tenir compte de l'évolution climatique afin de favoriser une adaptation appropriée des pratiques par les producteurs.

Grâce à l'appui des ressources gouvernementales, certaines pertes reliées aux conditions climatiques problématiques peuvent être prévenues et atténuées. Ainsi, le Réseau d'avertissements phytosanitaires renseigne les producteurs sur la présence et l'évolution des ennemis des cultures ainsi que sur les stratégies d'intervention les plus appropriées, s'appuyant sur les prévisions des modèles mathématiques établis à partir de données climatiques. Bourgeois *et al.* (2004) ont souligné que l'évolution climatique nécessiterait que ces modèles soient révisés de manière à tenir compte des réponses non linéaires aux températures plus élevées.

Il en va de même pour la question de l'eau, qui demande une planification et une coordination des activités adaptées au niveau régional. Déjà plusieurs projets de micro-irrigation se déroulent dans les champs de cultures horticoles. Cette méthode permet d'utiliser la ressource hydrique plus efficacement et représente un gain pour l'environnement.

## **3.4.3. Gestion de l'eau**

### **Eaux de surface**

Les eaux de surface représentent environ 80 p. 100 des volumes d'eau utilisés au Québec (Mailhot *et al.*, 2004; Rousseau *et al.*, 2004). Bien que cette ressource névralsique soit abondante au Québec, les impacts qu'aura le changement climatique sur celle-ci ne sont pas à négliger (Rousseau *et al.*, 2003; Nantel *et al.*, 2005). Deux aspects sont à considérer au préalable, soit : 1) les impacts sur la quantité d'eau disponible et sur la qualité des eaux brutes (Hatfield et Prueger, 2004; Booty *et al.*, 2005) et 2) les impacts sur les usages ou sur des usagers du territoire (Lauzon et Bourque, 2004, Lemmen et Warren, 2004). Les impacts sur la disponibilité en eau, par exemple, seront liés aux modifications des fréquences d'occurrence et de l'ampleur des étages et des sécheresses (Institut national de recherche sur les eaux, 2004), alors que la vulnérabilité des systèmes d'approvisionnement en eau potable dépendra de l'ampleur des changements (qualitatif et quantitatif) mais surtout de la capacité des infrastructures et des organisations à y faire face, domaine au sujet duquel peu d'évaluations sont disponibles à l'heure actuelle.

Outre l'approvisionnement, les différents usages de l'eau sont considérés comme des instruments de développement économique et régional. En zones rurale et urbaine de la sous-région sud, les usages de l'eau sont majeurs et nombreux : prélèvements pour des utilisations différentes, telles que l'embouteillage, l'approvisionnement industriel, municipal, piscicole, agricole et minier, ou pour utilisation sur place, comme dans le cas de la production hydroélectrique, du transport fluvial, des usages récréatifs, de la pêche et de l'évacuation des eaux usées (Vescovi, 2003; Ouranos, 2004). Étant donné les tendances démographiques et socio-économiques présentées plus tôt et considérant que 65 p. 100 de la population du Québec vit déjà dans des bassins hydrographiques urbains et 32 p. 100 vit dans des bassins modérément urbains (Statistique Canada, 2005), la pression sur les bassins versants méridionaux favorisera l'accroissement de la vulnérabilité. Vient s'ajouter à ceci la possibilité soulevée par le tableau 4 et présentée dans des travaux récents (Turcotte *et al.*, 2005; Rousseau *et al.*, 2007), aux termes desquels le changement climatique apporte une saison chaude aux températures plus élevées mais sans supplément suffisant de précipitation pour compenser l'évaporation accrue, menant ainsi à des modifications hydroclimatiques susceptibles de favoriser l'amplification des conflits d'usages. Ces conflits suscitent déjà un intérêt parmi plusieurs groupes, intérêt ayant permis, par exemple, d'adopter une nouvelle politique de l'eau (Gouvernement du Québec, 2002) qui devient un outil pouvant contribuer à diminuer les vulnérabilités.

En ce qui a trait à la production hydroélectrique, même si les impacts prévus du changement climatique – surtout un début de gel tardif et un printemps précoce – pourraient en favoriser la production, les contraintes associées à la couverture de glace en amont des centrales s'accentueraient. En effet, une formation récurrente de la couverture de glace au cours d'un même hiver aurait une incidence sur le rendement des centrales sur une longue période. En outre, l'alternance plus fréquente de périodes de gel-dégel pourrait entraîner des problèmes de frasil et d'embâcles plus fréquents et réduirait d'autant le rendement de ces centrales tout en engendrant d'autres risques. D'ailleurs, selon Prowse et Beltaos (2002), une augmentation de fréquence de redoux hivernaux aurait tendance à augmenter le risque d'embâcle pour d'autres régions du pays.

## Fleuve Saint-Laurent

De pair avec l'ouvrage intitulé *S'adapter aux changements climatiques* (Ouranos, 2004), qui offre une synthèse des connaissances spécifiques à ce grand fleuve drainant le sud du Québec et le centre de l'Amérique du Nord, on note l'étude de Croley (2003), qui a utilisé les sorties de quatre modèles de circulation générale pour estimer que la quantité d'eau transitant du lac Ontario vers le Saint-Laurent serait réduite de 4 p. 100 à 24 p. 100 sur une base annuelle. En utilisant une méthode similaire, Fagherazzi *et al.* (2005) ont conclu en une faible réduction des débits variant de 1 p. 100 à 8 p. 100 de la rivière des Outaouais, le principal tributaire du Saint-Laurent. En combinant ces deux résultats, Lefebvre (2005) a conclu que les niveaux du Saint-Laurent seraient réduits dans le secteur de Montréal d'un maximum de 20 cm à 1,2 m selon le scénario. Ceci réduirait considérablement la surface d'eau libre dans le fleuve, et particulièrement au lac Saint-Pierre qui est peu profond, générant tout le long du fleuve des impacts de nature similaire à ceux identifiés plus haut mais d'envergure potentielle différente vu la grandeur de la région touchée.

C'est dans ce contexte que le Comité de concertation navigation du Plan d'action Saint-Laurent a étudié les options d'adaptation qui permettraient le maintien des activités maritimes et portuaires à leur niveau actuel (D'Arcy *et al.*, 2005). En explorant différentes options d'adaptation, l'étude constate que si les baisses de niveau d'eau sont faibles, l'amélioration des prévisions à long terme permettrait d'optimiser les critères de marge de sécurité que les transporteurs établissent lors des chargements outre-mer, diminuant leur vulnérabilité. Si les baisses sont plus importantes, des adaptations d'ordre organisationnel, comme la réorganisation du transport maritime et ses infrastructures, ou d'ordre technologique, comme l'adaptation des vaisseaux afin de minimiser le tirant d'eau requis, semblent théoriquement réalisables mais paraissent difficile à appliquer dans un contexte d'échanges économiques croissants et des investissements majeurs requis pour une telle réorganisation (de 260 millions de dollars à 1 milliard de dollars). Finalement, des adaptations du milieu physique, comme le dragage et les ouvrages de régularisation, peuvent permettre de diminuer la vulnérabilité du transport maritime, mais occasionnerait, par contre, des répercussions environnementales considérables, dont les incidences et les coûts reliés aux mesures de compensation seraient difficiles à mesurer avec précision.

Il convient de souligner quelques initiatives illustrant le désir de plusieurs instances à minimiser les risques et conflits que pourraient engendrer une diminution marquée des niveaux d'eau. La Commission mixte internationale (CMI) a initié, il y a plusieurs années, une vaste étude sur l'évaluation de différents plans de régularisation des débits. Plusieurs plans de gestion éprouvés incluaient l'analyse des débits en conditions de changement climatique (Commission mixte internationale, 2006) et les options proposées pourraient faciliter l'adaptation. Cette évaluation visait même à aborder, par exemple, les avantages des terres humides par rapport aux avantages et pertes économiques des plans de régularisation. De plus, les gouvernements du Québec, de l'Ontario et des huit États américains des Grands Lacs, ont signé en décembre 2005 l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent qui vise à maîtriser les prélèvements d'eau sur l'ensemble du bassin, dans tous les secteurs, et interdit notamment les dérivations hors du bassin. L'entente fait explicitement référence au changement climatique et au principe de

précaution (Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2005).

## Eaux souterraines

Elles sont la source de 20 p. 100 des approvisionnements en eau potable au Québec. Rivard *et al.* (2003) ont constaté que la recharge annuelle des ressources en eau souterraine semble rester stable ou diminuer légèrement depuis les dernières décennies au Québec et dans les Maritimes alors que les précipitations et les températures tendent à augmenter. Des baisses significatives de disponibilité en eau souterraine auraient d'importantes répercussions, surtout en zone rurale où une proportion non négligeable de la population (26 p. 100 en Chaudière-Appalaches contre 10 p. 100 au Québec) s'approvisionne en eau souterraine à l'aide de puits individuels (Régie régionale de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches, 2001). Leur vulnérabilité est d'autant plus grande que les connaissances au sujet des nappes d'eau souterraine au Canada accusent encore des lacunes. Au Québec, la cartographie de l'aquifère du bassin de la rivière Châteauguay (Côté *et al.*, 2006) représente un pas dans la bonne direction. De plus, sur ce même bassin, plusieurs projets de recherche démarrés en 2006 et supportés par Ouranos et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), tentent d'améliorer le niveau des connaissances sur le plan des systèmes intégrant à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines, entre autres, à l'aide de la modélisation couplée. Ces connaissances permettront de contribuer à l'étude de la vulnérabilité de ces aquifères à l'échelle locale.

## Gestion des réservoirs des bassins versants méridionaux : le cas du bassin du Haut-Saint-François

Pour évaluer la capacité des plans de gestion actuels des bassins versants méridionaux de s'adapter aux impacts hydroclimatiques appréhendés, un projet pilote a été réalisé sur le bassin du Haut-Saint-François situé dans la région du centre-sud du Québec (Turcotte *et al.*, 2005; Fortin *et al.*, 2007). D'une part, l'approche était basée sur des scénarios de changement climatique (Chaumont et Chartier, 2005) et sur la modélisation hydrologique au pas de temps journalier pour évaluer l'impact sur l'hydrologie des bassins versants. D'autre part, elle s'appuyait sur un modèle simulant l'application quotidienne des plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer.

Les résultats sont similaires à ceux obtenus pour le bassin versant de la rivière Châteauguay (*voir* l'étude de cas 3) : les répercussions sur l'intensité des pointes de crues printanières (devancées et généralement moins fortes), estivales et automnales, sur les débits hivernaux, l'ampleur des étages (étages hivernaux soutenus et estivaux plus faibles) et l'intensité des augmentations annuelles de volume sont variables selon le modèle de circulation générale et le scénario d'émissions de GES utilisés (*voir* la figure 20). Dans le cas de l'analyse des plans de gestion, l'exercice de modélisation montre que le changement climatique, tel que simulé par les modèles ECHAM4 et CSIRO, entraînerait une modification des agencements actuels des différents usages de l'eau des réservoirs (*voir* la figure 21). Aucune adaptation majeure ne serait requise si le climat changeait tel que simulé par HadCM3. Dans les deux premiers cas, en revanche, devancer les périodes de remplissage des réservoirs et rehausser les niveaux minimum s'avéreraient des mesures d'adaptation nécessaires.

## ÉTUDE DE CAS 3

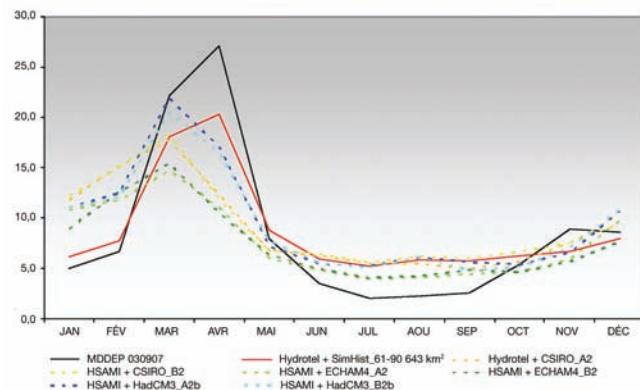
### Crues sur le bassin versant de la rivière Châteauguay

L'exemple du bassin versant de la rivière Châteauguay sert à illustrer la problématique des crues, surtout printanières, dans un contexte de changement climatique. Comme plusieurs l'ont démontré, les inondations provoquées par les crues de rivières demeurent l'un des événements hydroclimatiques extrêmes les plus dommageables (Ashmore et Church, 2001; Brissette *et al.*, 2003; Ouranos, 2004) auxquels le Québec tente continuellement de mieux s'adapter (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996). Pour analyser les impacts potentiels, Caron (2005) et Mareuil (2005) ont mené sur ce bassin versant un exercice de modélisation basé sur un générateur stochastique de climat, comprenant les anomalies mensuelles de températures et de précipitations tirées de trois modèles de circulation générale : MCGG2, HadCM3 et ECHAM4.

Les scénarios dégagés du modèle ECHAM4 pour l'horizon 2050 indiquent une diminution des crues printanières statistiquement significative pour les périodes de retour de 2 à 500 ans. Les modèles HadCM3 et MCGG2 présentent des résultats similaires (mais statistiquement non significatifs), soit une diminution des crues pour des périodes de retour courtes mais une augmentation pour des périodes de retour plus longues. Pour la période estivale, HadCM3 montre une légère augmentation de l'intensité des crues, et ce, pour toutes les périodes de retour (mais statistiquement non significative). Quant aux modèles ECHAM4 et MCGG2, ils indiquent une diminution statistiquement significative de 8 p. 100 à 10 p. 100.

Un autre exercice de simulation hydrologique a été mené sur la rivière des Anglais, un tributaire de la rivière Châteauguay (*voir la figure 19*). Les modèles Hydrotel et HASMI, utilisant six réalisations climatiques futures (trois modèles, soit ECHAM4, HadCM3 et CSIRO, auxquels les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre A2, B2 sont appliqués), indiquent des pics de crue devancés, passant de la fin d'avril, pour la période de 1961 à 1990, au début de mars au cours de la décennie 2050. Il semblerait qu'il y ait également un changement de volume des crues car HadCM3 projette une hausse du volume des crues printanières et ECHAM4 montre une baisse importante, alors que les résultats avec CSIRO se situent entre les deux autres modèles. Ces écarts s'expliquent par les différences d'évolution des températures et des précipitations projetées par ces modèles climatiques. Enfin, l'exercice semble indiquer une baisse des débits d'étiage causée par une hausse des volumes d'évapotranspiration, et ce, en dépit d'une hausse des précipitations (Pugin *et al.*, 2006).

Malgré ce constat, les évaluations sur le ruisseau Norton (un sous-bassin de la rivière des Anglais) des teneurs en eau des couches



**FIGURE 19 :** Hydrogrammes moyens annuels simulés par les modèles hydrologiques Hydrotel et HASMI à l'exutoire du ruisseau des Anglais. Les simulations ont été réalisées par rapport à la période de référence de 1961 à 1990 et la décennie 2050 couvrant les années 2040 à 2069 (Chaumont et Chartier, 2005).

supérieures du sol à l'aide d'un modèle de bilan montrent une augmentation des besoins en eau d'irrigation des terres agricoles, en raison de la hausse de l'évapotranspiration des plantes due à des températures accrues. En tenant compte de certaines contraintes de nature environnementale reliées au prélèvement de la ressource dans les cours d'eau et malgré la relative dispersion des résultats des différents scénarios climatiques analysés, l'étude conclut que, pour maintenir la proportion des besoins futurs en eau d'irrigation, besoins actuellement comblés à partir des eaux de surface, il faudrait planifier la ressource hydrique de façon plus concertée et sur la base d'une gestion globale et intégrée à l'échelle du bassin versant (Pugin *et al.*, 2006).

Enfin, Leclerc *et al.* (2006) ont indiqué qu'à Châteauguay même, les inondations causées par les embâcles résultent surtout du comportement du bassin hydrologique et de la présence de glace s'accumulant sur la rivière. Quant aux inondations en eau libre, elles résulteraient davantage des niveaux fluctuants du fleuve, provoquant les inondations récurrentes que connaît cette municipalité. Ainsi, pour ce qui est du sud du Québec et, en particulier, du bassin versant de la rivière Châteauguay, les impacts appréhendés du changement climatique prennent la forme de crues printanières devancées et d'intensité accrue. Plus indirectement, des variations des niveaux du Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais, ainsi que de crues estivales en eau libre variables, sont à prévoir.

### Mesures d'adaptation

Les mesures d'adaptation considérées sont nombreuses. Selon les problématiques étudiées, on retrouve, par exemple, la réhabilitation, voire la relocalisation de certaines prises d'eau, l'amélioration de l'efficacité de traitement, la réduction des volumes d'eau perdus en réseau et l'augmentation des capacités des réserves. Les mesures recommandées portent autant sur les infrastructures que sur les modes de gestion (un programme d'économie d'eau).

Les études préliminaires touchant la gestion des crues, comme celles abordant la problématique de la satisfaction des besoins futurs en eau d'irrigation et potable ainsi que des écosystèmes,

démontrent que ces problématiques devront être abordées selon une approche favorisant la gestion globale et intégrée de la ressource hydrique à l'échelle d'un bassin versant. Par ailleurs, les grands centres urbains, qui dépendent des eaux de surface, semblent vulnérables à toute modification des niveaux du fleuve Saint-Laurent. Lorsqu'ils peuvent compter sur des eaux souterraines suffisamment abondantes, les milieux ruraux sont eux, en termes quantitatifs, moins vulnérables. Outre la quantité, la question de la contamination des eaux serait problématique comme l'indique la section 3.5.1. De manière générale, le défi d'adaptation pour les petites municipalités, dont les moyens sont plus limités, est plus

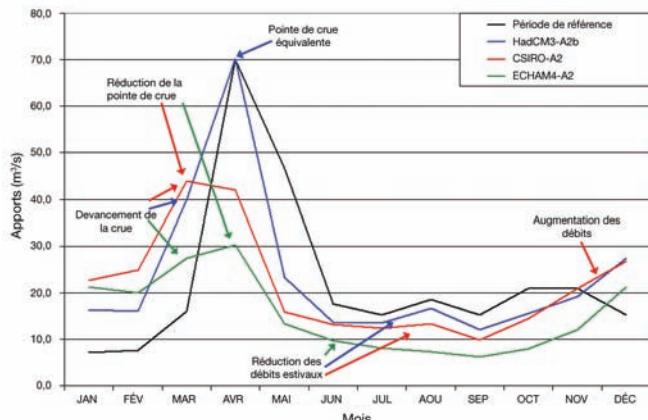


FIGURE 20 : Apports mensuels au lac Saint-François (Turcotte et al., 2005).

considérable que pour les grandes agglomérations. Là encore, les solutions d'adaptation passent idéalement par une gestion globale, intégrée et adaptée du cycle de l'eau des bassins versants méridionaux ainsi que du système des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Elles doivent être élaborées dans un contexte d'aménagement territorial durable, respectant les réalités socio-économiques et environnementales.

Quant aux infrastructures de gestion des eaux, le dimensionnement des réseaux de drainage a été réalisé à partir de critères statistiques de récurrence issus d'analyses d'historiques de précipitations et dont les données constatées sont disponibles pour un site donné (Mailhot et Duchesne, 2005). La modification appréhendée des récurrences des événements de pluie intense devrait résulter en une augmentation des débordements de réseaux, des refoulements, voire des inondations. Dans un contexte d'infrastructures vieillissantes de surcroît, Mailhot et al. (2007) ont souligné que les répercussions d'une augmentation probable des intensités et probabilités d'occurrence des événements de pluie intense (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007)

seraient limitées : 1) par la révision de critères de conception des infrastructures et édifices; 2) par de nouvelles façons d'utiliser les statistiques de précipitations intenses au moment du dimensionnement (Duchesne et al., 2005); mais surtout, 3) par l'amélioration du contrôle à la source grâce à un aménagement urbain optimal et une maximisation de l'infiltration, et ce, surtout dans un contexte où les infrastructures et bâtiments en place aujourd'hui y seront encore pour plusieurs décennies.

Enfin, les stratégies d'adaptation, qui devraient comprendre des plans de gestion plus robustes que ceux d'aujourd'hui, seront définies pour chacun des scénarios climatiques dans une approche de meilleure gestion des risques, puisqu'il semble pour l'instant difficile de trouver une stratégie unique pour l'ensemble des scénarios. Les résultats ont démontré (Turcotte et al., 2005) que le consensus actuel des plans de gestion des barrages devra être discuté par les intervenants du milieu, et ce, bien qu'il n'ait pas été possible de définir une solution d'adaptation générale qui puisse satisfaire l'ensemble des scénarios climatiques étudiés. Une approche préventive minimisera les risques et des scénarios climatiques plus raffinés et plus représentatifs du climat futur, s'appuyant sur des méthodes de mise à l'échelle plus évoluées, permettraient de minimiser les incertitudes. On pourrait alors mieux préparer le milieu quant à la modification éventuelle des règles de gestion pour qu'il puisse s'adapter aux réalités à venir. Ainsi, pour faciliter l'adoption d'une stratégie d'adaptation faisant consensus, il y aurait lieu de mieux intégrer chacune des étapes de modélisation (permettant de bien connaître le système étudié) dans le cadre d'une gestion intégrée et participative des bassins versants. D'ailleurs, en matière de gestion de l'eau, on peut dire qu'au même titre que la gestion par bassin versant s'impose dans les esprits comme une des meilleures approches de planification de l'adaptation au changement climatique, de même, il devient de plus en plus évident que la perspective du changement climatique doit, en retour, être elle aussi intégrée à la planification de la gestion par bassin versant. Ces deux volets d'activités s'intègrent naturellement et mutuellement l'un à l'autre.

	Plan de gestion actuel				Gestion adaptée ECHAM4 A2			Gestion adaptée CSIRO A2		
	Période de référence	ECHAM4 A2	CSIRO A2	HadCM3 A2b	ECHAM4 A2	CSIRO A2	HadCM3 A2b	ECHAM4 A2	CSIRO A2	HadCM3 A2b
Risque de rupture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dommages aux réservoirs (amont)	14	0	8	12	8	39	82	0	8	29
Villégiature	481	2634	1137	480	461	192	61	2028	481	213
Alimentation en eau	0	310	15	0	0	0	0	272	0	0
Dommage au lac Louise (aval)	16	4	17	13	4	16	29	2	12	12
Production d'énergie	596	364	523	579	345	482	498	369	526	567

↓

Compromis actuel

↓

Impact positif

↓

Impact négatif

↓

Adaptation non nécessaire ou négligeable

↓

Niveau minimum rehaussé

↓

Période de remplissage devancée

↓

Période de remplissage devancée

FIGURE 21 : Simulations du plan de gestion actuel des réservoirs Saint-François et Aylmer dans un contexte de changement climatique à l'horizon 2050, selon les modèles et les scénarios ECHAM4 A2 et HadCM3-A2b. Les chiffres du tableau correspondent au nombre de jours sur 30 ans (1961 à 1990) pendant lesquels des contraintes du plan de gestion (pour des usages spécifiques) ne sont pas respectées. Ces contraintes sont des niveaux d'eau des réservoirs et des débits en rivière (Fortin et al., 2007).

### **3.4.4. Tourisme et loisirs**

Le tourisme est l'une des activités économiques importantes potentiellement touchée par le changement climatique du fait de sa contribution au produit intérieur et à l'emploi. Or, le climat est l'élément premier influençant les activités touristiques sportives et de plein air, soit directement (soleil, beau temps, neige et glace), soit indirectement (paysages et végétaux). Il détermine, par exemple, la nature et la durée des activités concernant la neige et le froid (ski, motoneige), l'eau (baignade, activités nautiques) ou encore la couleur automnale (randonnées) et influence les conditions de vie du gibier (chasse) ou du poisson (pêche). Il peut même influencer le nombre et la durée des séjours culturels.

#### **Impacts appréhendés**

Selon Wilton et Wirjanto (1998), une hausse de température de 1°C en été augmenterait les recettes touristiques de 4 p. 100 au Canada, alors qu'une baisse de 1°C n'aurait qu'un impact marginal en hiver. La sensibilité des activités de tourisme et de loisir par rapport aux températures est différente selon les saisons et comporte des seuils différents. De plus, d'autres phénomènes rentrent en jeu, notamment l'érosion côtière, les déficits hydriques des lacs et des rivières ou d'approvisionnement (Wall, 1998).

Selon Singh *et al.*, (2006) et Scott *et al.* (2006), l'industrie québécoise du ski devra s'adapter à des conditions climatiques plus difficiles au cours des prochaines décennies. Les régions du sud du Québec (Montréal, Estrie) verront accentuer des conditions douces et pluviales durant la saison de ski, en raccourcissant la durée. Certaines périodes rentables, soit Noël, Pâques, la relâche scolaire, seraient touchées. Un réchauffement (moins de froid et de vent) aurait néanmoins pour effet d'augmenter le nombre de journées skiables et la fréquentation des pistes, surtout en janvier et février. Les coûts de fabrication de la neige artificielle, malgré le fait que les installations nécessaires soient déjà en place, risquent d'augmenter et d'avoir ainsi une incidence sur la rentabilité et la disponibilité hydrique nécessaire. Cette dernière deviendrait un enjeu critique car des prélevements accrus, conjugués à une baisse possible des niveaux d'eau, provoqueraient ou amplifieraient des conflits d'usages (Singh *et al.*, 2006). L'importance accordée par la clientèle à la neige naturelle et à la qualité de ski qu'elle assure devrait s'avérer avantageux pour le Québec du fait de sa latitude, notamment pour les stations qui ont une clientèle venant de l'extérieur et des campagnes de publicité adaptées. La perception urbaine (pluie en métropole alors qu'il neige en région) peut également entraîner des conséquences sur la fréquentation. Une étude portant sur l'industrie ontarienne du ski prévoit, selon le modèle climatique utilisé (Scott *et al.*, 2002), une réduction de 21 p. 100 à 34 p. 100 de la couverture de neige entraînant une désaffection d'activités comme la motoneige et le ski de randonnée, la durée de la saison se trouvant écourtée jusqu'à 50 p. 100. La pêche sur glace présente une grande vulnérabilité aux hausses de température, entraînant des risques accrus pour la sécurité des pêcheurs. Enfin, des activités comme les festivals d'hiver seraient également touchées.

Pour la saison du golf, elle devrait se prolonger de deux à trois semaines (Singh *et al.*, 2006), favorisant essentiellement le début de la saison, 75 p. 100 de la fréquentation s'étalant de juillet à septembre. L'occurrence de journées défavorables devrait augmenter avec une fréquence accrue de canicules et également si

une hausse des précipitations se confirme. Les besoins accrus en irrigation, dus à l'augmentation de la chaleur, deviendraient problématiques et source de conflits d'usages dans un contexte de baisse des niveaux d'eau et de réglementation accrue quant aux prélevements, représentant le principal défi du secteur. Les variétés actuelles des gazon se détérioreraient plus rapidement pendant la saison estivale et les redoux hivernaux et les conditions climatiques futures favoriseraient les bactéries et autres agents pathogènes. La qualité de drainage des terrains de golf serait également touchée par l'intensité et la récurrence des précipitations, et l'entretien des terrains serait plus coûteux si l'augmentation de l'évapotranspiration devait résulter en un assèchement des terrains. Ces nouvelles contraintes climatiques seraient vitales pour les exploitants qui, déjà confrontés à une vive et récente concurrence, doivent également composer avec les normes environnementales reliées à l'utilisation réglementée des produits d'entretien, auxquelles il faut se conformer régulièrement (Singh *et al.*, 2006).

En ce qui a trait aux autres activités estivales, malgré le manque d'études on peut présumer d'une augmentation des activités touristiques estivales du genre randonnées, fréquentation des parcs, activités créatives nautiques, navigation de plaisance (Jones et Scott, 2005). Plusieurs régions touristiques au climat moins froid seraient avantagées par un réchauffement des températures et le Québec serait favorisé par rapport aux régions plus au sud, améliorant son bilan touristique, malgré des paramètres socio-économiques susceptibles de limiter les revenus dédiés au tourisme et aux loisirs. Les impacts négatifs proviendraient de l'accroissement des précipitations, des canicules ou de la dégradation de la qualité de l'eau, notamment en raison de la prolifération des cyanobactéries et d'autres espèces nuisibles (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005a). La pêche serait perturbée, les poissons étant sensibles même à de faibles variations de la température.

#### **Stratégies d'adaptation**

Face à une plus grande compétitivité des marchés, au renouvellement régulier des infrastructures et à l'augmentation des tarifs (coûts de fabrication de la neige artificielle, électricité, taxes foncières), de nombreux exploitants de stations de ski estiment que la meilleure stratégie d'adaptation consiste à mieux connaître les phénomènes climatiques futurs, pour mieux planifier leurs investissements et satisfaire une clientèle toujours plus exigeante et plus sélective. Bénéficiant des progrès techniques constants, l'industrie du ski démontre une capacité à s'adapter aux nouvelles habitudes de consommation, à la croissance de la concurrence et aux nouveaux phénomènes de société, tels que la consommation excessive et rapide, la modification du contexte familial ou encore l'accès instantané à l'information sur les prévisions climatiques, lesquelles seraient amenées à jouer un rôle de plus en plus prépondérant. Le développement de vocations différentes pour les sites représente déjà une adaptation à la variabilité climatique et ses impacts et devient une piste intéressante d'adaptation dans le cas de changements plus importants (Singh *et al.*, 2006).

Par rapport à l'industrie du golf, les stratégies d'adaptation portent surtout sur la gestion de l'eau, aussi bien en ce qui concerne les apports naturels que le drainage des terrains. La qualité des gazon, une exigence majeure des clients, devra être mieux surveillée afin d'en éviter le déteriorissement accru. L'allongement de la saison

provoquerait une augmentation des revenus, si les bénéfices rejaillissaient sur d'autres services comme la restauration ou l'hébergement. Cependant, le changement climatique ne semble pas être la priorité du secteur, les coûts d'entretien des terrains étant essentiellement reliés à la main-d'œuvre et aux produits phytosanitaires (Singh *et al.*, 2006).

Quant aux autres activités estivales, l'atténuation des impacts passe, par exemple, de l'aménagement d'un couvert végétal sur les berges pour la pêche sportive à la surveillance accrue de la qualité de l'eau des sites réservés à la baignade.

En fait, le développement de toute stratégie d'adaptation impliquant une industrie demande que les acteurs du domaine d'intérêt soient bien connus, et ce afin de mieux saisir l'importance à accorder au changement climatique selon les scénarios, les seuils de tolérance des activités ainsi que les diverses possibilités d'adaptation spontanée ou planifiée (Singh *et al.*, 2006). Du côté des consommateurs ou des utilisateurs d'infrastructures touristiques, il y aurait lieu de préciser leurs réactions à différents seuils climatiques pour chacune des activités et l'attrait que celles-ci exercent l'une par rapport à l'autre dans les nouvelles conditions climatiques.

### 3.4.5. Transports

Le réseau routier est influencé par un climat rigoureux, l'étendue du territoire, la répartition de la population ainsi que la circulation intense des grandes agglomérations (Ministère des Transports du Québec, 2006b). Ce contexte particulier accroît la sensibilité des infrastructures (*voir* la section 3.5.3) et des activités de transport au changement climatique.

#### Viabilité hivernale

La conduite en hiver sur les routes du Québec représente un défi, en raison surtout des conditions difficiles et changeantes. Or, les tempêtes hivernales, bien que moins fréquentes, s'intensifieraient selon les projections (Cohen et Miller, 2001). La gestion des opérations de viabilité hivernale, qui couvre l'ensemble des mesures prises par les divers acteurs pour combattre ou s'adapter à la dégradation des conditions de circulation en hiver, deviendrait alors plus complexe. Par contre, un système d'aide aux décisions en viabilité hivernale (nommé DVH-6024), basé sur les informations obtenues des stations équipées de capteurs météorologiques et routiers, a été mis en place par le MTQ en 1999 (Tanguay et Roussel, 2000). Le développement et l'appropriation des technologies liées à la météo routière se poursuivent, notamment en ce qui concerne l'instrumentation fixe et mobile déployée à l'échelle du territoire.

#### Chaussée

Dans la sous-région sud, les écarts de température peuvent atteindre 25 °C en quelques heures. Pendant plus de quatre mois, le sol gèle à des profondeurs de 1,2 à 3 m, et les précipitations peuvent atteindre jusqu'à 1 000 mm par an (Ministère des Transports du Québec, 2006c). Au printemps, après avoir résisté à la déformation due au gel profond, la route doit être en mesure de supporter des charges importantes, alors que la résistance de la chaussée est réduite de 40 p. 100 (Frigon, 2003). Or, les scénarios dérivés des modèles climatiques laissent présager une augmentation de

l'incidence des épisodes de redoux (Gouvernement du Québec, 2006c). Les cycles de gel-dégel et une présence accrue d'eau sur la chaussée accentuent certains phénomènes de dégradation des revêtements, ces nouvelles conditions climatiques ayant une incidence sur l'état des chaussées et, par conséquent, sur les coûts d'entretien. L'évolution rapide des méthodes et des connaissances en matière de conception de chaussées et l'apparition de nouvelles technologies et de nouveaux produits ont incité le MTQ à adapter diverses technologies à la réalité québécoise et à concevoir et à mettre au point de nouveaux équipements d'auscultation. Ces activités, réalisées en collaboration avec le milieu universitaire, font l'objet de rencontres et d'échanges techniques ainsi que de projets de recherche conjoints avec plusieurs pays, dont la France (Doré et Savard, 2006) et les États-Unis.

### 3.4.6. Contexte particulier à sous-région sud

Le sud du Québec est caractérisé par une activité socio-économique importante, qui apporte d'importants stress à l'environnement et complexifie inévitablement l'analyse des vulnérabilités et la prévision des impacts sur les systèmes naturels et humains en place. En fait, les facteurs de complexité sont similaires à ceux d'autres régions fortement développées et densément peuplées :

- forte densité d'une population en croissance;
- un environnement bâti en croissance desservant une économie fortement tertiaire;
- omniprésence d'institutions aux importantes capacités d'investissement et de règlementation;
- évolution des perceptions d'une population aux activités de moins en moins directement liées aux conditions climatiques et empreinte de choix historiques dans l'aménagement du territoire;
- pressions liées à l'urbanisation sur des bassin versants autrefois largement agricoles et forestiers.

Cette dynamique est également influencée par les enjeux socio-économiques mondiaux susceptibles, tout comme les impacts climatiques qui y seront associés, de se répercuter sur la sous-région sud (*voir* le chapitre 9). Dans ce contexte, et comme l'illustrent les sections 3.4.1 à 3.4.5, on constate que les travaux disponibles sont essentiellement sectoriels, sauf en ce qui a trait à la gestion de l'eau dans lequel cas des études commencent à quantifier et intégrer les impacts de différents usagers sur les règles de gestion.

L'événement climatique illustrant le mieux les vulnérabilités liées à une forte interdépendance des infrastructures demeure la tempête de verglas de janvier 1998. Ainsi, les effets de la tempête se produisant simultanément sur plusieurs secteurs ont généré une cascade complexe d'impacts qui, une fois cumulés, ont mené à un dysfonctionnement des activités socio-économiques et des répercussions évaluées à plusieurs milliards de dollars (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999). Or, sachant que toute infrastructure ou choix de société est un compromis socio-économique jugé acceptable entre un coût et une efficacité désirée, le changement climatique pourra avoir une incidence sur ce ratio. Les événements extrêmes vécus ou prévus pourront donc contribuer à revoir ces compromis autrefois jugés acceptables. Cependant, bien que des études climatiques quantitatives sur les

liens entre les changements et les extrêmes climatiques commencent à émerger (Tébaldi *et al.*, 2006), elles permettent rarement d'évaluer les impacts à l'échelle d'une infrastructure, d'un édifice ou d'une collectivité. Mailhot *et al.* (2007) a abordé ce genre d'évaluation requise pour la sous-région sud et a constaté qu'une hausse des précipitations abondantes, telle que simulée par l'une des versions du MRCC, toucherait le milieu urbain, provoquant une surcharge pour les infrastructures municipales ainsi que des crues subites sur les bassins versants ruraux. Divers outils (Secretan *et al.*, 2006), politiques (Gouvernement du Québec, 2006c) et aménagements du territoire (Mailhot *et al.*, 2007) contribueraient à diminuer la vulnérabilité.

Il existe peu de connaissances sur les liens qui existent entre le climat régional et la géologie de la sous-région sud. Toutefois, la majeure partie du Québec habité où se produit, de surcroît, un important étalement urbain, se trouve sur des sols argileux propices aux glissements de terrain (*voir* l'étude de cas 4) et toute hausse du nombre des glissements aurait des conséquences importantes sur la

sécurité des personnes et des biens. Tel que mentionné au chapitre 2, le manque de connaissances au sujet d'un problème potentiel peut avoir une forte incidence sur la capacité d'adaptation d'un système.

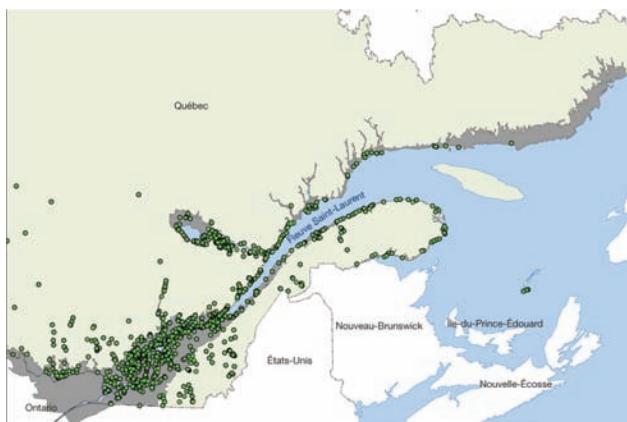
### 3.5 AUTRES ENJEUX INTÉGRÉS À L'ÉCHELLE DE LA PROVINCE

Après une présentation d'enjeux clés pour les quatre sous-régions, la présente section vise à aborder d'autres sensibilités et impacts à l'échelle de la province. Sans pouvoir être une synthèse exhaustive en raison de l'ampleur potentielle de la problématique et de la quantité limitée de documentation sur le sujet, l'objectif est d'obtenir une meilleure vue d'ensemble tout en examinant certains enjeux spécifiques non abordés précédemment. Un regroupement autour des trois éléments clés illustrés à la figure 1 est utilisé.

#### ÉTUDE DE CAS 4

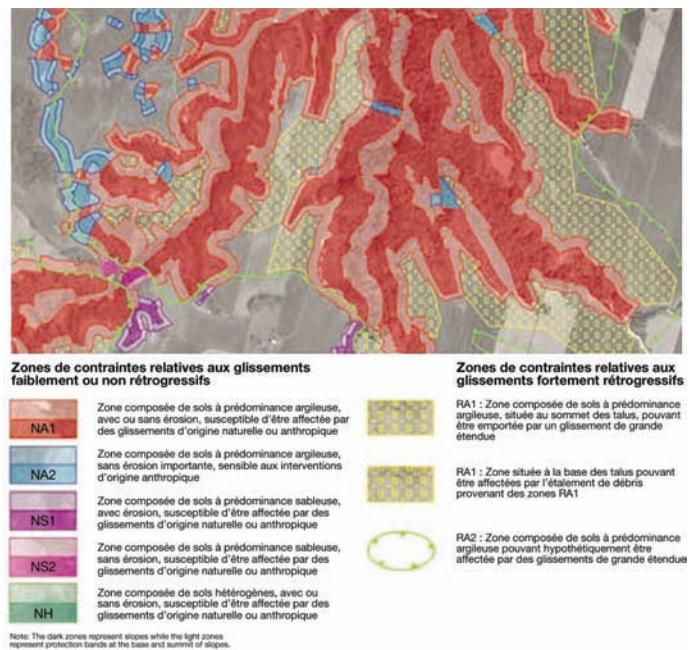
##### Glissements de terrain au Québec

Au Québec, des centaines de glissements de terrain se produisent chaque année et la plupart surviennent dans des sols argileux (*voir* la figure 22) aux endroits où se produit justement une importante croissance de la population, telle que présentée à la section 2. On sait que l'infiltration de l'eau dans les sols, à la suite de la fonte printanière ou lors de précipitations, est l'une des deux causes principales de déclenchement de glissements de terrain, l'autre étant l'érosion progressive des berges à cause de cours d'eau ou d'interventions humaines déstabilisantes. Or, les événements météorologiques extrêmes prennent souvent la forme de fortes quantités de pluie, causant fréquemment des crues importantes. Les nombreux glissements de terrain qui surviennent au printemps ou lors d'événements exceptionnels – comme les pluies diluviales de juillet 1996 au Saguenay–Lac-Saint-Jean alors que plus de 1 000 glissements de terrain ont eu lieu en moins de 36 heures (Ministère des Transports du Québec, 2000) – en sont la preuve.



**FIGURE 22 :** Inventaire des demandes d'intervention en raison de glissements de terrain au Québec, entre 1972 et 2005. La zone en gris dénote les limites de l'invasion marine postglaciaire caractérisée par des dépôts argileux, (carte fournie par le Ministère des Transports du Québec, communication personnelle 2006).

Bien que le lien entre ces événements et le changement climatique ne semble pas évident, l'accroissement de ce phénomène touchant une sous-région où se produit généralement un étalement urbain important semblerait augmenter en fonction des événements de précipitations extrêmes. Néanmoins, le déluge du Saguenay permet de mieux comprendre le phénomène à l'aide de la cartographie de certaines régions à risque, mesure qui vient s'ajouter aux efforts historiques initiés à la suite du glissement de terrain à St-Jean Vianney en 1971 (*voir* la figure 23) dans le but de faciliter l'évaluation des vulnérabilités et de favoriser un usage plus sécuritaire du territoire.



**FIGURE 23 :** Exemple de carte de zones de contraintes relatives aux glissements de terrain pour une localité du Saguenay–Lac-Saint-Jean (Gouvernement du Québec, 2005).

Par ailleurs, bien que valide pour l'ensemble du Québec, la présente section est particulièrement pertinente pour la sous-région sud, socio-économiquement prédominante et destinée à voir le changement climatique se conjuguer à de nombreux changements socio-économiques et environnementaux déjà en cours depuis plusieurs décennies. Les changements d'ordre climatique, les événements météorologiques, la diffusion de l'information, les négociations internationales, la perception des populations, l'économie de marché et les politiques publiques de plusieurs paliers de gouvernement vont influencer la vulnérabilité de cette sous-région et de l'ensemble du Québec.

### 3.5.1. Sensibilités et adaptation des populations

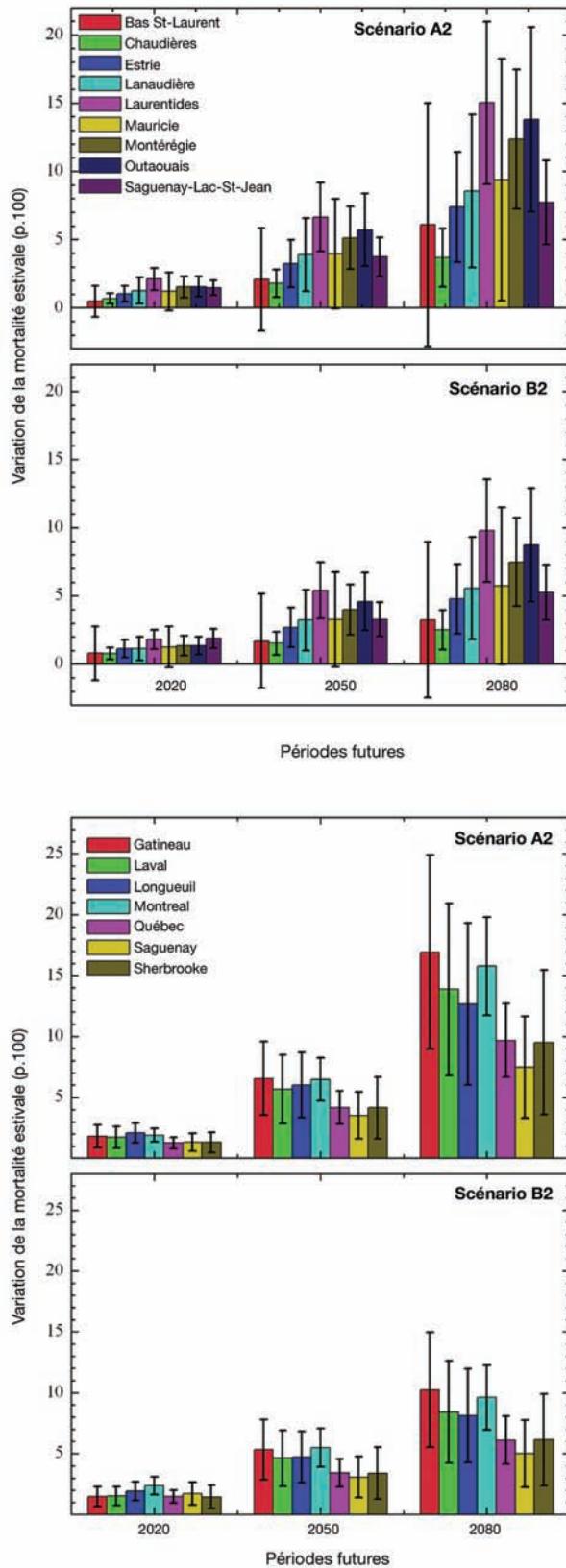
Le changement climatique représente un défi pour la santé humaine. Ses impacts sont soit directs, (mortalité due aux coups de chaleur), soit indirects (recrudescence d'insectes pathogènes). D'autre part, les populations montrent des degrés de vulnérabilité différents au changement climatique, ce qui complique l'instauration de mesures d'adaptation pour limiter les impacts appréhendés.

#### *Impacts et sensibilités*

##### **Impacts du réchauffement moyen sur la mortalité**

Au Québec, la hausse des températures moyennes peut entraîner une augmentation du taux annuel de mortalité (*voir la figure 24*). L'étude de Doyon *et al.* (2006) a prévu une hausse de la mortalité en été (de causes non traumatiques) de l'ordre de 2 p. 100 pour 2020 et de 10 p. 100 pour 2080, selon le scénario A2 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a); cette hausse n'est pas entièrement compensée par une baisse de la mortalité en hiver. Ainsi, la hausse du taux annuel de mortalité serait de l'ordre de 0,5 p. 100 pour la période 2020 et de 3 p. 100 pour 2080, soit des conclusions similaires à celles présentées par Kalkstein et Green (1997) pour plusieurs villes des États-Unis; ils estimaient le nombre de décès au cours des journées chaudes trois fois plus important qu'au cours des journées froides. Cependant, Keatinge *et al.* (2000) ont prévu une diminution annuelle nette de la mortalité au Royaume-Uni en raison d'une diminution de la mortalité pendant l'hiver, ce qui ne semble pas être le cas au Québec. Toutefois, ces simulations ne considèrent ni le vieillissement de la population – phénomène qui peut augmenter substantiellement le taux de mortalité –, ni les mesures d'adaptation sur les plans physiologique et environnemental, non plus que celles reliées au logement qui, elles, peuvent le diminuer tout autant. Ainsi, au Québec, il y aura de plus en plus de gens âgés de 65 ans et plus; leur proportion est passée de 9,7 p. 100 à 12 p. 100 entre 1986 et 2001, et atteindrait environ 24 p. 100 en 2025 (Institut de la statistique du Québec, 2000). De surcroît, l'étude de Doyon *et al.* (2006) a confirmé que le groupe des 65 ans et plus est historiquement beaucoup plus vulnérable au réchauffement climatique que le groupe des 15 à 65 ans.

Les effets sanitaires directs des pluies violentes et des inondations consistent en des blessures, des problèmes cardiaques et en décès par noyade. Les effets indirects prennent la forme de maladies infectieuses, par exemple conjonctivites et dermatites, causées par les matières contaminantes présentes dans l'eau des crues et les



gastro-entérites dues à la contamination microbiologique des sources d'eau potable; des problèmes respiratoires liés aux moisissures sont aussi répertoriés. Les sinistrés et les intervenants souffriraient d'un stress post-traumatique pouvant mener à la dépression, à l'angoisse, à des troubles psychosociaux et même au suicide (Organisation mondiale de la Santé, 2005).

Les effets directs sur la santé des tempêtes hivernales se traduisent par des blessures, des engelures, de l'hypothermie et, quelquefois, par des décès, au nombre de 100 Canadiens chaque année (Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2005).

En 2004, la foudre a été l'agent responsable d'environ 12 p. 100 des incendies de forêts (Organisation de patrouilles de la société de protection des forêts contre le feu, 2006). En plus de leur impact économique important sur l'industrie forestière, les feux de forêts émettent dans l'atmosphère des composés chimiques, à savoir des particules, des oxydes d'azote, du monoxyde de carbone ou encore des composés organiques. Ces émissions peuvent, chez l'être humain, entraîner des problèmes d'irritation des voies respiratoires, d'aggravation des maladies chroniques et d'intoxication due à l'inhalation de fumée. Des syndromes aigus peuvent aussi survenir chez les travailleurs qui combattent les incendies et les travailleurs de la forêt longuement exposés à la fumée (Dost, 1991). Les effets indirects sur la santé de la population et des travailleurs sont le stress post-traumatique, pouvant mener au suicide (Organisation mondiale de la santé, 2005) notamment dans le cas d'une perte économique importante (p. ex., incendie de la résidence ou de l'usine avec perte d'emplois). Les scénarios actuels en rapport avec la forêt boréale ne prévoient cependant pas de modifications notables du régime de pluviosité et des feux de forêts au Québec, mais une incertitude persiste (Ouranos, 2004).

En janvier 1998, le Québec a reçu de la pluie verglaçante pendant cinq jours consécutifs, une situation qui a laissé plus de trois millions de personnes sans électricité et qui, pour plusieurs, a duré 40 jours. Cet épisode a occasionné quelque 21 décès et 200 intoxications au monoxyde de carbone (Roy, 1998), principalement en Montérégie et sur l'île de Montréal (Tremblay *et al.*, 1998). Laplante *et al.* (2004) ont mené une étude sur 224 femmes sélectionnées, qui étaient alors enceintes ou qui le sont devenues dans les trois mois suivant cette tempête. Les facteurs de stress « objectifs » (le nombre de jours sans électricité) et les réactions « subjectives » (syndrome de stress post-traumatique) ont été évalués. Les résultats montrent un lien entre un stress prénatal important chez la mère et une mortalité périnatale élevée, des différences de développement psychomoteur chez les enfants âgés de 2 à 5,5 ans et des troubles de comportement chez ceux âgés de 4 à 5,5 ans.

Dans le nord du Québec, les tendances climatiques récentes ne semblent pas étrangères à la survenue de l'avalanche à Kangiqsualujjuaq en 1999, où neuf personnes ont été tuées et 25 blessées (Sécurité publique Canada, 2006). D'autres incidents, moins tragiques, se sont produits dans d'autres villages durant la même période. À Salluit, (détroit d'Hudson), un glissement de terrain a eu lieu en 1998 à la suite de la rupture du mollisol. À Tasiujaq (baie d'Ungava), la fonte du pergélisol a contribué à l'affaissement d'un bâtiment et la déformation de la piste de l'aéroport (Allard *et al.*, 2002b). En plus de mettre des vies en danger, ces événements causent beaucoup d'insécurité au sein de la

population, qui est largement dépendante du transport aérien pour l'approvisionnement alimentaire et les évacuations médicales vers les centres hospitaliers.

### Impacts des vagues de chaleur et de l'effet d'ilot thermique urbain sur la santé

Des températures plus élevées, un humidex quotidien en hausse depuis les quatre dernières décennies à Montréal et à Québec ainsi que des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses représentent des risques importants pour la santé humaine (Environnement Canada, 2004a, b). À ces événements, il faut ajouter l'effet d'ilot thermique urbain (EITU), généré par les recouvrements asphaltés et les matériaux des infrastructures et bâtiments qui absorbent la chaleur et rehaussent la température de l'air ambiant de 0,5 à 5,6 °C dans les milieux urbains (Oke, 1982).

La chaleur peut provoquer de l'inconfort, allant d'une faiblesse aux troubles de la conscience, en passant par des syncopes et des coups de chaleur pouvant s'avérer mortels (Besancenot, 2004).

Indirectement, la chaleur peut également aggraver des pathologies chroniques, comme le diabète, l'insuffisance respiratoire et l'insuffisance rénale. L'ensoleillement contribue aussi à la formation d'ozone troposphérique dans les milieux urbains, gaz nuisible à la santé humaine. L'ozone troposphérique peut provoquer l'irritation des yeux et des voies respiratoires, une réduction des fonctions respiratoires, une aggravation des maladies des voies respiratoires ou cardiaques et même une mort prématurée (Santé Canada, 2004).

Les populations du sud sont plus sensibles à une fréquence accrue des épisodes de chaleur accablante, tandis que celles du nord souffrent davantage d'une hausse des températures, n'y étant pas acclimatées (Santé Canada, 2005). Plusieurs études scientifiques (Commission de la santé et de la sécurité du travail, 2004; Direction de la santé publique de Montréal, 2004) ont fait mention de personnes à vulnérabilité accrue en fonction de caractéristiques environnementales (p. ex., logement, travail, accès aux lieux frais) ou personnelles (p. ex., maladies, handicaps, âge). L'étude de Bélanger *et al.* (2006) a jeté une lumière nouvelle sur la vulnérabilité de certains groupes à la chaleur. Elle a mis en relief certains facteurs connus et documentés de nouvelles associations pouvant aggraver l'impact des vagues de chaleur, notamment 1) le fait de vivre seules pour les personnes âgées; 2) la précarité économique; 3) une mobilité restreinte; 4) des problèmes neurologiques chroniques (épilepsie, sclérose en plaques); 5) le soutien social; 6) le type de logement occupé (dont certains types d'immeubles de logements); 7) l'accès à des activités récréatives lors des périodes de canicule (tels que lieux de baignade).

Le rapport entre les immeubles à logements comptant plusieurs étages et la hausse du taux de mortalité durant les épisodes de canicule a été établi par plusieurs chercheurs (Klinenberg, 2002; Dixsaut, 2005) et cette vulnérabilité a aussi été documentée dans les perceptions de la population pour l'ensemble du Québec (Bélanger *et al.*, 2006).

Une étude exploratoire réalisée dans la région de l'Estrie et traitant de l'usage de médicaments lors d'épisodes de chaleur accablante a mis en évidence l'importance des mises en garde de la part des pharmaciens (Albert *et al.*, 2006). On y fait ressortir un fort pourcentage (30,2 p. 100) de personnes âgées de 65 ans et plus prenant des médicaments dont l'effet peut être compromis par la

déshydratation, ou qui peuvent empêcher la perte calorique ou qui peuvent empêcher la fonction rénale. Près de 5 p. 100 des personnes âgées avaient trois ordonnances ou plus de médicaments de ce type qui devaient être pris simultanément.

### Effets de la pollution atmosphérique sur la santé

L'Organisation mondiale de la santé a émis l'hypothèse qu'un climat plus chaud et plus humide augmente la concentration atmosphérique de certains pollens suscitant, par le fait même, une recrudescence des affections allergiques, telles que la rhinite allergique et l'asthme (McMichael *et al.*, 2003). La rhinite allergique représente un sérieux problème de santé publique dans les pays industrialisés, altérant la qualité de vie des populations touchées et causant absentéisme et perte de productivité au travail. Les coûts reliés à l'hospitalisation, aux médicaments et aux consultations médicales sont également importants (Breton *et al.*, 2006; Garneau *et al.*, 2006). Pour les régions de Québec et de Montréal, on a documenté, entre 1994 et 2002, une hausse à la fois des concentrations polliniques et de la fréquence des consultations médicales pour cause de rhinite. La rhinite allergique due au pollen et à d'autres substances allergènes, ou résultant d'une cause non précisée, se classe au 5e rang (9,4 p. 100) des problèmes de santé déclarés (Institut de la statistique du Québec, 2000). Cette prévalence semble avoir augmenté de 6 p. 100 depuis 1987 (Garneau *et al.*, 2006), mais plusieurs facteurs externes peuvent aussi y avoir contribué autre que le climat.

Selon Garneau *et al.* (2006), la rhinite allergique touche surtout les personnes âgées de 15 à 24 ans (14,6 p. 100 de la population québécoise) et celles âgées de 25 à 44 ans (13,6 p. 100). Les consultations médicales pour la période de 1994 à 2002 sont plus fréquentes chez les femmes que chez les hommes. Cependant, pour les groupes d'âge de 0 à 14 ans, elles sont plus élevées chez les hommes. Ces résultats correspondent à ceux obtenus par les études de Banken et Comtois (1990) ainsi que de Goulet *et al.* (1996), qui ont rapporté une incidence maximale de rhinite allergique chez les personnes âgées de 0 à 24 ans.

Une grande part des émissions de CO<sub>2</sub> est reliée à l'utilisation des sources d'énergie fossiles, qui sont aussi associées aux émissions des précurseurs de l'ozone troposphérique et des particules fines. Les projections pour le changement climatique incluent une augmentation des extrêmes de température, qui se manifesterait, entre autres, par une hausse de la fréquence et de la durée des périodes de canicule et de smog (House et Brovkin, 2005; Organisation mondiale de la santé, 2005). Des simulations sont en cours à Environnement Canada et à Santé Canada pour quantifier cet effet dans le cadre de scénarios futurs. Le Québec présente des niveaux d'ozone de basse altitude en hausse constante depuis 15 ans sur une base moyenne saisonnière (Environnement Canada, 2005), quoique le nombre d'épisodes aigus varie beaucoup d'une année à l'autre. En outre, l'augmentation des gaz à effet de serre ayant été de 6 p. 100 de 2001 à 2003 (Institut national de santé publique du Québec, 2006), on conclut que ce risque, lié aux polluants associés, demeure important et en croissance pour la majeure partie de la sous-région sud, et ce, à des degrés variables.

### Effets du changement climatique sur la quantité et la qualité des ressources hydriques

Dans la sous-région sud, les effets projetés du changement climatique sont une baisse des niveaux et des débits des cours d'eau, une modification du régime pluviométrique (*voir* la section 3.4.3) et

une hausse du taux de salinité des eaux du Saint-Laurent (Bourgault, 2001). Il s'agit d'une projection inquiétante, car plus de 70 p. 100 de la population tire son eau potable des eaux de surface (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004a). Les risques de contamination microbienne, chimique et par biotoxines naturelles sont également plus élevés. De plus, les pénuries d'eau, dues à la diminution de la capacité des aqueducs, représentent un risque accru en cas d'incendie, accompagné de blessures, décès et incidences psychologiques importantes pour les familles qui assistent à la destruction de leurs biens personnels (Enright, 2001).

Des maladies d'origine hydrique pourraient se manifester si des micro-organismes pathogènes migraient vers les sources d'eau souterraine ou de surface utilisées comme sources d'approvisionnement (Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2005a, b). Le phosphore, l'ensoleillement et la température sont les principaux facteurs responsables de la prolifération d'algues ou fleurs d'eau de cyanobactéries (Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux, 2003). Au Québec, ce phénomène a déjà touché quelque 84 lacs et cours d'eau entre 1999 et 2003 (Institut national de santé publique du Québec, 2006) et a mené à des interdictions de consommer l'eau et de se baigner, sans provoquer toutefois de maladies humaines rapportées à ce jour. Les cyanotoxines, produites par les cyanobactéries, peuvent causer une irritation de la peau, des dommages hépatiques ou nerveux sérieux, tant par contact cutané que par ingestion d'eau (American Water Works Association, 1999; Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2003). Les jeunes enfants, les personnes âgées et les malades chroniques risquent davantage de présenter des symptômes sévères résultant de la contamination de l'eau. Les amateurs d'activités aquatiques sont particulièrement vulnérables à la contamination par biotoxines naturelles (Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux, 2003; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005b). La population en général serait touchée par des pénuries d'eau sur les plans physique et psychologique; les familles déjà en situation précaire vivraient davantage d'insécurité sur le plan alimentaire, en ayant à acheter leur eau (Direction de la santé publique de la Montérégie, 2004).

Les maladies d'origine hydrique (transmises par protozoaires, bactéries ou virus) sont omniprésentes au Nunavik et, de 1990 à 2002, on y a recensé un nombre proportionnellement plus élevé qu'ailleurs au Québec de certaines de ces maladies (p. ex., giardiasie, salmonellose), alors que le nombre d'autres types de maladies infectieuses y est moins élevé (Furgal *et al.*, 2002). Le changement climatique peut avoir une incidence sur l'approvisionnement en eau, aussi bien les systèmes individuels que collectifs, causer la dégradation du pergélisol et contribuer à l'infiltration d'eau salée dans les aquifères, c'est-à-dire aggraver une situation déjà préoccupante. Pour plusieurs villages, l'enfouissement des déchets dans le pergélisol en dégel polluerait les nappes phréatiques, les cours d'eau et les terrains avoisinants (Furgal et Seguin, 2005). Au Nunavik, une personne sur cinq est âgée de moins de cinq ans; il s'agit-là d'un groupe à risque pour les maladies gastro-entériques en raison de la fragilité du système immunitaire des enfants (Martin *et al.*, 2005b). Les changements pressentis mettent en évidence l'urgence d'améliorer les systèmes de monitorage environnemental et de surveillance sanitaire pour détecter et traiter rapidement les problèmes de santé reliés à la qualité de l'eau (Owens *et al.*, 2006).

Par rapport à ce sujet, un projet pilote est présentement en cours dans la baie d'Ungava dans le cadre du réseau de centres d'excellence ArcticNet (Gosselin, 2006).

En 2004, QANUIPPITAA, l'enquête de santé du Nunavik menée auprès des Inuits de tous les villages de la sous-région (Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik, 2004), a donné le coup d'envoi à la préparation de nouvelles stratégies. Lors du passage de l'Amundsen, brise-glace en mission scientifique, 232 résidences et 19 sites d'approvisionnement en eau brute ont fait l'objet de visites dans le cadre d'un projet ArcticNet (Martin *et al.*, 2005c) associé à l'enquête de santé. Cette étude a permis à la fois de connaître les habitudes de consommation en eau potable des résidents et de tracer un portrait global de la teneur en bactéries de l'eau consommée. Elle servira à élaborer d'importantes bases de données dans les domaines environnemental et sanitaire pour la sous-région nord, qui serviront à assurer un suivi en fonction du climat.

Une enquête similaire a été menée auprès de la population crie de Mistissini (Nituuchischaayihtitaa Aschii, 2005). Elle permettra de constituer une base de données intéressante sur l'évolution de la qualité de l'eau au cours des sept prochaines années dans les collectivités amérindiennes de la sous-région nord.

### **Impacts du changement climatique sur l'émergence et l'intensification des maladies zoonotiques et à transmission vectorielle**

Le changement climatique modifierait l'aire de distribution des parasites et des maladies transmises par des animaux, des insectes et des tiques, entraînant une hausse des maladies infectieuses existantes ou même l'apparition de nouvelles maladies infectieuses au Québec.

Au nombre des maladies zoonotiques, on compte le syndrome pulmonaire de hantavirus (SPH), un virus qui peut infester certains rongeurs. Un climat plus chaud pourrait entraîner la propagation des rongeurs dans de nouvelles régions. Plusieurs rongeurs indigènes peuvent servir de vecteurs de cette maladie; un premier cas a été rapporté au Québec en 2005 (Direction de la santé publique, 2005). La rage est une autre maladie transmissible à l'être humain par des morsures ou des griffures d'animaux infectés. Le changement climatique pourrait occasionner des modifications de l'habitat, de la durée d'hibernation et des conditions de reproduction des animaux-réservoirs, et avoir ainsi pour effet de propager cette maladie dans le nord du Québec (Institut de recherche forestière de l'Ontario, 2003).

Au Québec, il existe actuellement peu d'espèces de moustiques vecteurs de maladies virales transmissibles à l'humain. Toutefois, quelques espèces présentes dans la sous-région sud sont des vecteurs du virus du Nil, de l'encéphalite de Saint-Louis, de l'encéphalite de La Crosse et de l'encéphalite équine de l'Est (Institut de santé publique du Québec, 2003a, b). Des hivers plus doux et des étés plus longs pourraient prolonger la durée de vie de ces moustiques, ainsi que la saison de la transmission du virus responsable de l'encéphalite de Saint-Louis, originaire des États-Unis, qui pourrait alors s'étendre au Québec. L'encéphalite de La Crosse, pour sa part, existe de façon endémique aux États-Unis et la variété Snowshoe Hare (lièvre) de ce virus est présente au Québec. Le virus de l'encéphalite équine de l'Est a déjà été identifié au

Québec, mais aucun cas n'a été rapporté jusqu'à présent (Institut de santé publique du Québec, 2005a, b); il risque, par contre, d'être réintroduit chaque année par les oiseaux migrateurs (Institut de recherche forestière de l'Ontario, 2003).

La maladie de Lyme est une zoonose émergente au Canada. Sa bactérie peut être transmise aux êtres humains par la morsure de tiques infectées. Selon les chercheurs de l'Université de Montréal, les tiques favorisant la propagation de cette maladie sévirraient d'ici 10 à 20 ans dans plusieurs des régions de l'est du Canada, dont le Québec, à mesure que le climat se réchauffe (N. Ogden, Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, communication personnelle, 2005).

Plusieurs zoonoses existent déjà chez les espèces animales arctiques, notamment la tularémie chez les lièvres, les rats musqués et les castors; la rage chez les renards (Dietrich, 1981); la brucellose chez les ongulés, les renards et les ours; et l'échinocoque chez les espèces canines (Chin, 2000). Les Inuits présentent des niveaux élevés de plusieurs zoonoses parasitaires, notamment la toxoplasmose (Tanner *et al.*, 1987) et le changement climatique est susceptible d'accroître l'incidence de la transmission, soit par ingestion de chair, ou par contamination hydrique. Déjà, de 21 p. 100 à 56 p. 100 des foyers inuits rapportent une certaine insécurité sur le plan alimentaire (Statistique Canada, 2001). L'enquête QANUIPPITAA permettra une mise à jour de ces données au début de 2008.

### **Quelques autres effets sur la sous-région nord**

Depuis des millénaires, les Inuits pratiquent la chasse et la pêche de subsistance. Bien qu'ils aient accès à de la nourriture importée du sud, ils continuent de s'alimenter de façon traditionnelle et en retirent des effets sur la santé beaucoup plus bénéfiques que ne leur procurent les produits importés (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Institut national de santé publique du Québec, 2004). Par contre, si les animaux étaient affectés par des maladies, des parasites, un plus grand nombre d'insectes piqueurs, des famines ou des modifications et des pertes d'habitats, les Inuits seraient exposés à un double changement car leurs ressources pourraient être transformées ou déplacées et ceci pourrait avoir une incidence sur la qualité de celles-ci. L'apport en protéines animales à haute valeur nutritive serait réduit, situation d'autant plus inquiétante que la croissance démographique et le maintien de leurs habiletés pour la chasse et la pêche vont en diminuant (Furgal *et al.*, 2002). Cette évolution est préoccupante pour les responsables de la santé publique, car le remplacement des produits traditionnels par des produits importés, plus riches en sucres et en glucides, aurait pour effet d'engendrer des problèmes cardiovasculaires, de diabète, de déficiences vitaminiques, d'anémie, de santé dentaire et d'obésité, ainsi qu'une résistance moindre aux infections. Les Inuits présentent déjà des taux de mortalité ou de morbidité beaucoup plus élevés qu'ailleurs au Québec, pour la plupart en rapport avec l'alimentation (Institut national de santé publique du Québec, 2006), et une espérance de vie réduite, due en bonne partie aux décès par traumatismes, aux cancers et, dans une moindre mesure, aux maladies cardiovasculaires.

Les impacts directs et indirects des conditions climatiques sur l'environnement naturel et bâti augmenteraient probablement les risques pour la santé, la sécurité et le bien-être de ces populations isolées. À titre d'exemple, la hausse importante de la quantité et de

l'intensité des précipitations causerait davantage de glissements de terrain ou d'avalanches. Par ailleurs, à la suite des neuf décès et 25 blessés causés par l'avalanche de Kangiqsualujjuaq survenue en 1999, une évaluation poussée des risques a été effectuée dans tous les villages, et les infrastructures essentielles ont été déplacées, notamment les centrales diesels et les réservoirs de carburant (Schweizer et Jamieson, 2003).

## Stratégies d'adaptation

### Mortalité et morbidité

Les modélisations de la relation entre la mortalité et la température moyenne réalisées pour la plupart des régions du Québec (Doyon *et al.*, 2006) seraient complètes si les liens entre la morbidité et le climat étaient quantifiés et si les variations des taux d'hospitalisation ou de consultation à l'urgence étaient examinées. Des seuils d'intervention spécifiques à des régions et à des villes seraient établis, puis modifiés de temps à autres selon l'évolution de la température ainsi que des décès et des maladies. Ces travaux sont prévus dans le cadre d'un programme d'Ouranos et, d'ailleurs, certaines villes commencent à s'adapter (Kosatsky *et al.*, 2005a, b).

### Événements climatiques extrêmes

Le Québec dispose de bons mécanismes de réaction aux cas d'urgence, et la plupart des initiatives actuelles d'adaptation consistent en des activités de surveillance et de monitorage, de formation et d'éducation ainsi qu'en des modifications de lois et de politiques. Pour ce qui est de la surveillance et du monitorage, il semble toutefois nécessaire, selon divers observateurs (Giguère et Gosselin, 2006a), d'étendre et de renforcer le rôle des systèmes d'information géographique (SIG) et des nouvelles technologies dans la gestion des risques d'inondation. Différents ministères du Québec (Sécurité publique, Santé et Services sociaux), Sécurité publique Canada et des organismes comme la Croix-Rouge mettent à la disposition du public des guides de mesures à prendre au moment d'événements extrêmes de différente nature. La création d'Ouranos, et de son volet santé (en collaboration avec Santé Canada, le Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et l'Institut national de santé publique du Québec), s'inscrit dans la stratégie du Québec sur l'adaptation au changement climatique (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2003a, b; Institut national de santé publique du Québec, 2005a, b). La gestion par bassins versants, actuellement en voie de réalisation, permettra d'assurer une approche écosystémique de la gestion de l'eau incluant les acteurs de santé publique (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004a).

D'autre part, il serait souhaitable d'élaborer et d'encourager de nombreuses autres initiatives d'adaptation aux événements climatiques extrêmes (Giguère et Gosselin, 2006a), notamment :

- la valorisation de la planification préventive reliée aux événements climatiques extrêmes;
- la modélisation et la communication des risques sur les différents types d'événements climatiques extrêmes, à court, moyen et long terme, en vue de développer des initiatives adéquates;
- la recherche en matière d'impacts des événements climatiques extrêmes sur la santé à court et long terme, ainsi que le

perfectionnement des mesures en cas d'urgence dans le domaine sanitaire.

Le ministère de la Santé et des Services sociaux (Gouvernement du Québec, 2006a) a annoncé son intention de mettre sur pied d'ici 2011 un système de surveillance et de suivi épidémiologique des conséquences des événements climatiques extrêmes.

### Pollution atmosphérique

Selon Garneau *et al.* (2006), il faudrait établir des seuils polliniques critiques et émettre des avis de protection lorsque ces seuils seraient dépassés. Il faudrait aussi continuer d'appliquer les méthodes de contrôle de l'*Ambrosia* spp., pollen auquel est associé le plus grand pourcentage de symptômes allergiques, et amener les principaux acteurs à renforcer leurs interventions. Une Table québécoise sur l'herbe à poux existe d'ailleurs à cet effet depuis 1999 pour soutenir les actions sur le terrain des partenaires municipaux, privés et non-gouvernementaux en vue de contrôler ce risque (Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie, 2007). Divers avis de santé publique visant à réduire l'étalement urbain et la circulation automobile ont été émis ces dernières années (Direction de la santé publique de Québec, 2004; King *et al.*, 2005), mais sans effet mesurable jusqu'à ce jour. Le programme Info-smog est maintenant disponible pour tout le Québec méridional, et ce, à longueur d'année (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006b), mais son impact sur les comportements semble négligeable jusqu'ici (Bélanger *et al.*, 2006; Tardif *et al.*, 2006).

Les stratégies d'adaptation relatives à la préservation de la qualité de l'air portent généralement sur la promotion d'achat de petits véhicules peu énergivores, de déplacements à bicyclette ou à pied, ou encore sur la promotion des transports en commun, dont le gouvernement du Québec (2006b) encourage une hausse annuelle de 8 p. 100 d'ici à 2012.

### Quantité et qualité des ressources hydriques

Dans le contexte du changement climatique, plusieurs initiatives majeures d'adaptation associées à la quantité et à la qualité des ressources hydriques du Québec sont déjà instaurées, ou sont en voie de l'être d'ici à 2007 (Giguère et Gosselin, 2006c). Ainsi, des programmes de suivi de la qualité de l'eau de surface permettent de bénéficier d'activités aquatiques sécuritaires, mais sur une partie seulement des sites. Le Règlement sur la qualité de l'eau potable oblige le personnel superviseur ou contrôleur de la qualité de l'eau potable et responsable de l'entretien des infrastructures de traitement de l'eau à suivre une formation adéquate. Des programmes de recherche et de développement sur les méthodes de traitement de l'eau potable sont en cours depuis déjà quelques années dans plusieurs universités québécoises. La nouvelle réglementation québécoise (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005b) sur la qualité de l'eau prescrit une surveillance rigoureuse, dont les normes sont parmi les plus élevées en Amérique du Nord. Toutefois, elle ne prévoit aucune norme s'appliquant aux cyanotoxines, toxiques pour l'humain, et dont la prolifération risque de s'accroître dans un contexte de réchauffement climatique. Des recherches sur les liens entre le climat, la santé et la qualité de l'eau sont aussi en cours. Selon Charron *et al.* (2005), les maladies d'origine hydrique et alimentaire représentent sans doute le plus important problème sanitaire de la planète. Le centre de prévention et de contrôle des

maladies infectieuses de l'Agence de santé publique du Canada, en collaboration avec l'Institut de santé publique du Québec, mène présentement une étude sur les attributs reliés à la santé, notamment les écosystèmes, la population, les collectivités et les individus, afin de définir la vulnérabilité des Canadiens aux maladies d'origine hydrique et alimentaire découlant du changement climatique, y compris dans le milieu rural du Québec. Une amélioration des moyens de détection des épidémies et des maladies infectieuses en fonction de variables climatiques est prévue dans le Plan d'action 2006-2012 du gouvernement du Québec (2006a).

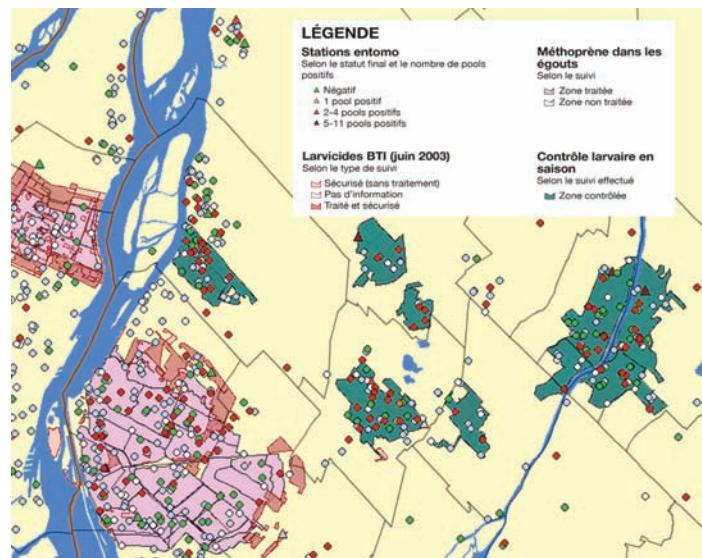
### Zoonoses et maladies à transmission vectorielle

Au Québec, les zoonoses et les maladies à transmission vectorielle semblent être le secteur où l'on prend le plus d'initiatives d'adaptation au changement climatique, quoique les risques semblent peu élevés en comparaison avec d'autres secteurs socio-économiques. L'Institut national de santé publique du Québec coordonne les activités en matière de détection précoce, de surveillance en temps réel (*voir la figure 25*) et de recherche sur le virus du Nil occidental (Boudreau et al., 2005; Gosselin et al., 2005; Institut national de santé publique du Québec, 2005a, b). Quant au gouvernement du Québec, il met à la disposition du public des documents d'information sur les maladies zoonotiques et à transmission vectorielle ainsi que sur les façons de s'en protéger. Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2006) a, pour sa part, investi d'importantes sommes dans la recherche en vue de mieux surveiller et de contrer les maladies zoonotiques.

De plus, certains experts (Giguère et Gosselin, 2006b) ont proposé d'élaborer et de mettre en œuvre des initiatives, comme l'intégration d'indicateurs d'impacts du changement climatique à la surveillance des maladies zoonotiques et à transmission vectorielle et l'intensification des recherches sur les moyens de contrôle de ces maladies.

### Vagues de chaleur et effet d'îlot thermique urbain

En 2006, tel qu'exigé par le ministère de la Santé et des Services sociaux, sept régions sur huit possédaient un plan d'intervention d'urgence en cas de vague de chaleur (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006a). Ces plans d'urgence, impliquant le déclenchement d'alertes et la mobilisation, sont basés sur un seuil fixé à partir d'une analyse des données sanitaires et météorologiques des 20 dernières années et plusieurs comprennent une surveillance des décès en situation d'alerte. La Direction de la santé publique de Montréal a développé une bonne expertise dans ce domaine depuis 2004, mais aucun test des plans d'urgence n'a encore été effectué en situation réelle de canicule prolongée, bien qu'un exercice de simulation ait été réalisé pour l'île de Montréal (Santé Canada, 2005), apportant certaines améliorations aux plans d'urgence. D'autres exercices de simulation ont également permis de déceler plusieurs déficiences (Santé Canada, 2004). D'autres initiatives portant sur les risques de la chaleur accablante ont été mises en œuvre pour informer la population et les groupes plus vulnérables (Ministère de la Santé et des Services sociaux du



**FIGURE 25 :** Exemple de carte thématique provenant du système de surveillance en temps réel de l'Institut national de santé publique du Québec (Système intégré des données de vigie sanitaire-Virus du Nil occidental ou SIDVS-VNO). Elle présente divers traitements préventifs d'insecticides (zones foncées) contre les larves des moustiques vecteurs du virus du Nil occidental sur la rive sud de Montréal, en 2003 (*voir* Gosselin et al., 2005).

Québec, 2006c), soit les personnes âgées et leur entourage ainsi que certains groupes de travailleurs. Une démarche similaire a été entreprise auprès d'établissements, d'organismes (p. ex., Commission de la santé et de la sécurité au travail, Réseau public québécois de la santé au travail) et d'organisations de santé (p. ex., cliniques médicales, pharmacies, Association des locataires des habitations à loyer modique). Des initiatives visant les travailleurs ont été élaborées, notamment dans la région Chaudière-Appalaches, portant surtout sur la diffusion d'informations. Par ailleurs, des projets de recherche concernant les vagues de chaleur et les effets d'îlot thermique urbain (EITU) sont présentement planifiés ou ont été entrepris par Ouranos (2006).

Selon Bélanger et al. (2006), les stratégies d'adaptation liées aux vagues de chaleur devraient s'articuler autour des activités suivantes : surveillance, recherche, diffusion d'informations et programmes d'aide. Pour ce qui est de la recherche, il s'agirait surtout de déterminer les services dont les personnes vulnérables ont besoin pour assurer leur sécurité durant ces épisodes de chaleur. Les principaux résultats devraient être communiqués à des organismes communautaires et à des intervenants de première ligne rattachés à la sécurité civile.

L'étude de Vescovi et al. (2005) a permis de cartographier des zones qui présentent un risque relié au réchauffement climatique, et un projet d'atlas Internet traitant certaines vulnérabilités de santé publique est en voie de réalisation à l'échelle du Québec (Gosselin, 2005) et couvre de façon plus précise l'île de Montréal (Kosatsky et al., 2005b).

Pour lutter contre l'EITU, la plantation d'arbres, l'usage de toits verts ou construits avec des matériaux à albédo élevé, de même que l'utilisation et la disponibilité du transport collectif dans certaines

régions font l'objet d'un intérêt grandissant (Ducas, 2004; Ville de Montréal, 2005). Certaines directions régionales de santé publique commencent à promouvoir de telles approches en milieu urbain.

Cependant, certaines initiatives supplémentaires pourraient être mises en œuvre (Giguère et Gosselin, 2006d), comme :

- la formation des professionnels de la santé;
- la mise sur pied de projets pilotes visant l'éducation populaire pour la protection personnelle en cas de vague de chaleur et la contribution à la lutte contre l'EITU;
- l'ajout de mesures économiques incitatives favorisant les initiatives pour atténuer le phénomène de chaleur accablante.

*Le Plan d'action 2006-2012 du gouvernement du Québec (2006a)* prévoit la promotion d'îlots de fraîcheur et la formation du personnel aux pratiques adaptées au changement climatique au cours des prochaines années, sous la supervision du Ministère de la Santé et des Services sociaux.

### Rayons ultraviolets (UV)

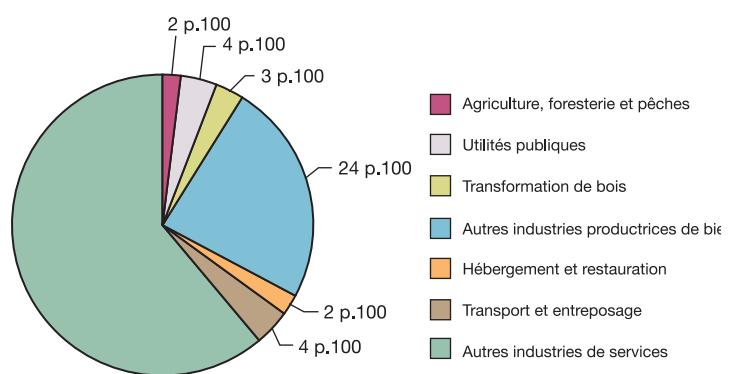
Au Québec, le changement climatique allongerait la saison chaude, incitant la population à vivre davantage à l'extérieur et s'exposant ainsi davantage aux rayons UV (Hill *et al.*, 1992; Diffey, 2004), effet quantitativement plus important que celui qui découle de l'amincissement de la couche d'ozone. Les conséquences sanitaires d'une surexposition aux UV s'accroîtraient, notamment les cancers épidermiques, les cataractes, l'effet immunosuppresseur amoindrissant l'efficacité des vaccins, le développement d'épidémies (Organisation mondiale de la santé, 2003). Pourtant, à l'échelle québécoise, contrairement à l'échelle canadienne, la protection contre les rayons UV n'est pas encore bien prise en considération (Warren *et al.*, 2004), et ce malgré les 80 000 nouveaux cas de cancers de la peau annuels diagnostiqués au Canada, forme de cancer la plus fréquente au pays (Institut national du cancer du Canada, 2005). Cependant, on peut avoir recours à l'indice UV émis par Environnement Canada, largement accessible à la population, ainsi qu'au Comité national de protection solaire (Stratégie canadienne de lutte contre le cancer, 2001). L'adaptation, aussi bien au niveau de la sensibilisation que de l'évolution des comportements, semble pourtant rentable; en Australie, par exemple, la prévention contre l'effet des rayons UV coûte en moyenne 0,08 \$ US par personne, alors que les coûts du traitement du cancer s'élèvent à 5,70 \$ US par personne (Organisation mondiale de la santé, 2003). L'effet du changement climatique sur ce thème reste encore à découvrir (Institut de recherche en santé du Canada, 2002), mais des mesures préventives visant à créer de l'ombre pour se protéger du soleil s'avéreraient utiles (Gouvernement du Québec, 2006a).

### 3.5.2. Sensibilités et adaptation des activités socio-économiques

La sensibilité de l'économie du Québec au changement climatique montre des différences importantes au niveau de la quantification des impacts, du degré de certitude associé et de difficulté à en préciser la valeur monétaire. On peut regrouper les impacts sur l'économie en plusieurs catégories :

- La première regroupe les impacts sur l'environnement bâti : il peut s'agir de perte d'infrastructures ou de bâtiments, de travaux d'entretien, de protection accrue, de déplacement, de reconstruction ou encore de réaménagement. À cet égard, la région arctique et la façade maritime sont particulièrement vulnérables (fonte du pergélisol, érosion côtière, modification du régime de précipitations).

- La deuxième catégorie rassemble les impacts sur les activités économiques, dont la productivité ou la demande et les prix seraient modifiés. La vulnérabilité économique à long terme est fonction de l'importance des secteurs touchés, aussi bien positivement que négativement, par les changements de température et de précipitation. Compte tenu de l'importance des ressources naturelles dans son économie (*voir la figure 26*), le Québec est plus vulnérable que certaines autres régions développées du monde dont l'économie est moins liée au climat. En effet, les industries forestières, l'agriculture, la chasse et la pêche, représentent 2 p. 100 de son économie (3,8 milliards de dollars) et la production hydroélectrique, tributaire des précipitations, représentait 7,8 milliards de dollars en 2001. Les industries de transformation, soit l'agroalimentaire, le bois d'œuvre, les pâtes et papiers et la transformation des métaux, seraient touchées quant à la disponibilité et aux coûts des approvisionnements. Outre les industries basées sur les ressources naturelles, plusieurs industries de service seraient vraisemblablement touchées tel le tourisme (restauration et hébergement, soit 4 milliards de dollars et de nombreux emplois) qui pourrait être avantagé ou désavantagé selon son adaptation aux conditions changeantes. De même, les services de santé et sanitaires auraient des besoins accrus face aux nouveaux risques. D'autres secteurs, comme ceux des transports routiers et maritimes et des



**FIGURE 26 :** Répartition du PIB du Québec en fonction des types de secteurs économiques touchés par le climat (Ministère des Transports du Québec, 2006c).

services financiers et des assurances, devraient s'ajuster, notamment face aux incertitudes accrues et aux coûts supérieurs d'indemnisation. En somme, une partie importante de l'économie québécoise serait directement ou indirectement touchée.

- La troisième catégorie regroupe les impacts, tant de la modification des valeurs moyennes du climat que de celles des extrêmes sur la sécurité, la santé et le bien-être des populations, ainsi que sur les écosystèmes. Il est difficile, par contre, de quantifier la valeur réelle de ces variables autrement qu'avec des mesures indirectes, malgré leur rôle majeur dans l'économie.
- Enfin, les événements climatiques extrêmes, notamment les inondations, le verglas, les tornades et les vagues de chaleur, représentent un ensemble d'impacts sur l'économie qu'il est utile de regrouper car ils diffèrent par leur durée et leur ampleur. Ils auraient une incidence sur la sécurité des populations, l'intégrité des écosystèmes naturels, le déroulement des activités économiques et sur de nombreux bâtiments et infrastructures, entraînant des coûts élevés de l'ordre de milliards de dollars, mais de courte durée.

La sous-région sud a une économie diversifiée où les activités manufacturières et tertiaires occupent une large part de la production du travail et de l'emploi. Les régions ressources et rurales sont beaucoup plus dépendantes d'une ou de deux activités seulement, comme l'exploitation forestière, le tourisme, la chasse et la pêche ou l'agriculture. La distribution des impacts du changement climatique sur le territoire du Québec ne serait pas uniforme, et la survie même de certaines collectivités reposeraient sur leur capacité de s'adapter avec efficacité au nouveau contexte climatique. En fait, le changement climatique ne représente qu'un aspect d'un monde en évolution constante. Le Québec devrait en effet connaître une croissance économique soutenue, l'amenant à doubler sa production sur une période de 50 ans selon une extrapolation des tendances actuelles, et des changements commerciaux et technologiques agiront également sur cette évolution, rendant la prévision des impacts du changement climatique difficile (Ministère des Finances du Québec, 2005).

Quant au domaine peu étudié des aspects sociaux, il est probable que l'adaptation de la société québécoise passe entre autres par une sensibilisation accrue au phénomène et, ainsi : 1) on aurait recours à un réseau d'éducation imbriqué de façon systématique dans des processus de communication avec les jeunes (et leurs parents) sur la question du changement climatique; 2) une telle démarche influencerait positivement le système économique et politique, les mesures d'adaptation nécessitant une intervention du secteur public; 3) le rôle des médias amplifierait le transfert des connaissances. La couverture médiatique augmenterait probablement avec la multiplication des cas vécus de victimes du changement climatique. Cette situation existe déjà et l'on s'attend à ce qu'elle prenne de plus en plus d'importance.

### 3.5.3. Sensibilités et adaptation de l'environnement naturel et bâti

#### *Environnement naturel et écosystèmes*

Chaque écosystème a une biodiversité propre qui se maintient dans le temps de manière dynamique, en fonction de l'évolution des paramètres du milieu (Di Castri et Younes, 1990). La biodiversité se décline sur trois plans : diversité des gènes, diversité des espèces et diversité des écosystèmes (Di Castri et Younes, 1996). Une population est un groupe d'individus de la même espèce qui tente de maintenir ses effectifs de génération en génération; elle est l'unité sur laquelle s'exercent les pressions d'adaptation. À chaque nouvelle génération, les individus doivent s'adapter à un ensemble de facteurs écologiques et engendrer une descendance fertile pour le maintien de l'espèce. Les écosystèmes présentent une multitude de biens et services essentiels à la survie humaine, comme l'attestent certaines collectivités autochtones ou rurales particulièrement dépendantes de ces ressources (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2002).

Le climat est le principal facteur agissant sur la structure et la productivité végétale ainsi que sur la répartition des espèces animales et végétales à l'échelle mondiale (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2002). Il est certain que le changement climatique prévu sur le territoire du Québec aura des effets que l'on pourra constater à l'échelle locale, sur des populations ou des écosystèmes sensibles. Dans certains cas, le changement climatique se traduira par la réduction d'effectifs ou la disparition de certaines populations; pour d'autres, il sera l'occasion de multiplier les effectifs et d'étendre l'aire de répartition. Il modifiera les dynamiques écologiques des écosystèmes et, à moyen et long terme, les paysages (McCarty, 2001; Root et Schneider, 2002; Scott *et al.*, 2002; Walther *et al.*, 2002). Ces transformations ne sont pas déterministes; les êtres vivants sont soumis à de multiples pressions, et le changement climatique ne constitue qu'un des éléments de l'équation.

#### **Enjeux différents**

La sous-région sud abrite la majeure partie des espèces et des écosystèmes menacés ou vulnérables (Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, 2003) et sera, entre autres, touchée par la hausse des températures moyennes, la modification du régime des crues et les redoux hivernaux (Kling *et al.*, 2003). Indirectement, en raison des impacts du changement climatique sur les Grands Lacs, le régime des crues et les débits et niveaux moyens du Saint-Laurent amèneront un réajustement géomorphologique, touchant de nombreuses espèces fauniques et floristiques, reliées ou non aux terres humides, qui subissent déjà les effets de l'activité humaine (Mortsch *et al.*, 2000; Morin *et al.*, 2005). La modification des débits du Saint-Laurent et des niveaux de base implique un réajustement morphologique des embouchures des tributaires qui se traduit par l'incision et la déstabilisation des lits et des berges. Des travaux sur deux deltas du lac Saint-Pierre indiquent des processus d'ajustements rapides s'accompagnant d'une progradation de ces formes dans le fleuve (Boyer *et al.*, 2004).

Les espèces végétales et animales de la sous-région centrale ont une grande résilience, et les communautés sont écologiquement jeunes, issues du retrait postglaciaire terminé il y a moins de 10 000 ans. Ces espèces adaptées à une importante variation climatique annuelle et à une récurrence des catastrophes, et constituant de grands effectifs répartis sur un territoire immense, seraient touchées essentiellement dans les zones de transition, c'est-à-dire les zones montagneuses et les zones ripariennes.

Dans le cas de la sous-région maritime, les écosystèmes côtiers et estuariens sont les plus à risque, en raison de l'érosion accrue qui entraîne la réduction des aires de reproduction et de l'alimentation pour de nombreuses espèces résidentes ou migratrices (Harvell *et al.*, 2002; Jackson et Mandrak, 2002; Kennedy *et al.*, 2002).

La sous-région nord sera possiblement la plus touchée par l'ampleur du changement climatique (Flanagan *et al.*, 2003). Les changements écologiques se feront au détriment d'espèces adaptées aux conditions extrêmes de l'Arctique (Rizzo et Wilken, 1992; Payette *et al.*, 2001). L'expansion nordique d'espèces typiques de la forêt boréale se fera à partir d'individus sur place, produisant plus facilement des graines viables. On note déjà une certaine adaptation de l'épinette noire (*Picea mariana*; Gamache et Payette, 2004, 2005). La vitesse de migration des isothermes sera toutefois beaucoup plus rapide que celle des plantes.

Partout, les réseaux hydrographiques et les lacs présentent une sensibilité particulière, compte tenu de leur cloisonnement pour la migration des espèces de poissons (Hauer *et al.*, 1997). En outre, des changements phénologiques des espèces sont envisageables, ainsi qu'une extension des aires de répartition des espèces limitées par des facteurs de températures moyennes ou minimales (Edwards et Richardson, 2004).

### Sensibilité des espèces

Les organismes vivants réagissent directement aux facteurs écologiques et survivent selon leur tolérance. Ainsi, le nombre d'individus d'une population d'un écosystème est un indicateur de leur adaptation (Dajoz, 2000). Plus leur tolérance est élevée, meilleure est leur adaptation, comme l'ont démontré Albanese *et al.* (2004) chez les poissons.

Une espèce envahissante agrandit rapidement son aire de répartition dans un nouvel écosystème, soit parce qu'elle n'est plus limitée par un facteur écologique qui agissait autrefois, soit parce qu'elle profite de nouvelles conditions créées par une perturbation agissant sur les espèces dominantes du milieu (Bagon *et al.*, 1996).

La phénologie est l'étude des variations, en fonction du climat, des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale, comme la date de migration, le déclenchement du comportement reproductif, la mue, la date de floraison ou de chute foliaire (Budyko, 1974). Plusieurs modifications phénologiques ont été constatées au XX<sup>e</sup> siècle, et cette tendance, déclenchée par la température, les précipitations, la photopériode ou une combinaison d'événements, ne fera que s'accélérer (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2002). Visser et Both (2005) ont démontré que la plupart des espèces n'arrivent pas à coordonner les modifications de leur phénologie de façon optimale avec celles de leur nourriture. Ainsi, la date d'une migration déclenchée par une photopériode précise ne

changera pas avec l'augmentation de la température mais en fonction du comportement des proies. Cette absence de coordination risque de réduire les effectifs de prédateurs migrants (Jones *et al.*, 2003; Strode, 2003).

Dans la sous-région sud, les espèces dépendantes du régime de crues du Saint-Laurent, comme le grand brochet (*Esox lucius*) et la perchaude (*Perca flavescens*), seront touchées (Casselman, 2002; Chu *et al.*, 2005; Brodeur *et al.*, 2006). L'approche combinant des modèles d'habitat multivariés avec la modélisation bidimensionnelle de la physique (Morin *et al.*, 2003; Mingelbier *et al.*, 2004, 2005) permet de mesurer les impacts du changement climatique sur les surfaces d'habitat disponibles pour plusieurs espèces de poissons durant les périodes cruciales de leur vie. La température de l'eau, la vitesse du courant et le niveau d'eau sont des variables clés pour comprendre quel effet le changement climatique aura sur les poissons. Déjà, des données indiquent un réchauffement de l'eau à certains endroits (Hudon, 2004) et les températures atypiques de l'été 2001 ont entraîné une mortalité massive de carpes dans le Saint-Laurent fluvial et ses affluents (Mingelbier *et al.*, 2001; Monette *et al.*, 2006). Les modifications projetées des crues printanières entraîneront une baisse de reproduction comme celle constatée chez les oiseaux palustres et la sauvagine de la plaine du Saint-Laurent qui comprennent quelques espèces en péril (Giguère *et al.*, 2005; Lehoux *et al.*, 2005; Desgranges *et al.*, 2006). Dans la plaine inondable du fleuve, le rat musqué est particulièrement sensible aux fluctuations hivernales du niveau de l'eau et des changements le toucheront profondément (Ouellet *et al.*, 2005).

Dans la région arctique, l'ours blanc (*Ursus maritimus*) est dépendant de la glace de mer et le renard arctique (*Alopex lagopus*) subit l'extension de l'aire du renard roux (*Vulpes vulpes*), à la recherche des mêmes ressources alimentaires (Hersteinsson et MacDonald, 1992; Stirling, 1999; Walther *et al.*, 2002; Derocher *et al.*, 2004).

### Sensibilité des écosystèmes

Les écosystèmes aquatiques semblent les plus sensibles au changement climatique car leurs biocénoses se déplacent difficilement d'un bassin versant à un autre (Hauer *et al.*, 1997). Ainsi, des espèces comme le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) seront perturbées à cause de la hausse de la température de l'eau qui atteindrait des valeurs à la limite de leur possibilité de survie (Swanson et El-Jabi, 2001). Les nouvelles conditions de température favoriseront les espèces plus tolérantes aux températures élevées (voir la figure 27).

Les populations de poissons d'eau froide de la sous-région sud seront touchées par une eutrophisation accélérée ainsi que par des crues subites, potentiellement plus fréquentes, qui entraîneront une érosion du bassin versant et le transport de sédiments dans les lacs, tendance d'ailleurs déjà renforcée par l'activité humaine, comme l'agriculture, l'urbanisation et l'exploitation forestière (Shuter *et al.*, 1998).

L'augmentation des températures des lacs du sud causeraient de plus longues périodes de stratification thermique, entraînant des conditions anoxiques dans l'hypolimnion pendant une partie de l'année. Le touladi (*Salvelinus namaycush*), par exemple, est sensible

à ces deux derniers stress (Hesslein *et al.*, 2001). Les altérations des débits du fleuve Saint-Laurent vont également modifier la distribution spatio-temporelle des masses d'eau et les propriétés physico-chimiques caractéristiques (Frenette *et al.*, 2003, 2006). Ces changements risquent d'avoir une incidence sur la qualité nutritive des algues (Huggins *et al.*, 2004) et leur structure de communauté. La baisse de profondeur devrait se traduire par une augmentation de lumière près du fond et donc, une augmentation concomitante de la quantité de plantes submergées, ainsi que par des modifications des propriétés de la matière organique dissoute de l'eau et des particules (Martin *et al.*, 2005a).

Les terres humides de toutes les sous-régions sont sensibles au changement climatique en raison de la variation amplifiée du niveau des crues et des étages annuels ou interannuels associée aux précipitations violentes ou aux sécheresses. Turgeon *et al.*, (2005) ont démontré qu'il existait des liens fondamentaux entre l'hydrologie et la distribution spatiale des grandes classes de terres humides. Plusieurs espèces fauniques utilisant les terres humides seraient perturbées, ce qui représente un enjeu important pour l'écosystème du Saint-Laurent, tout comme les marais du lac Saint-Pierre (Hudon *et al.*, 2005). De plus, d'autres pressions, notamment l'agriculture et le développement industriel et urbain, s'y exercent (Bernier *et al.*, 1998; Robichaud et Drolet, 1998; Jean *et al.*, 2002; Ouranos, 2004) et entraîneront un fractionnement néfaste des habitats (Root et Schneider, 2002).

Les écosystèmes forestiers de la sous-région centrale ne devraient pas connaître d'importantes modifications de leur composition spécifique. Par contre, la fréquence des feux de forêts et l'activité

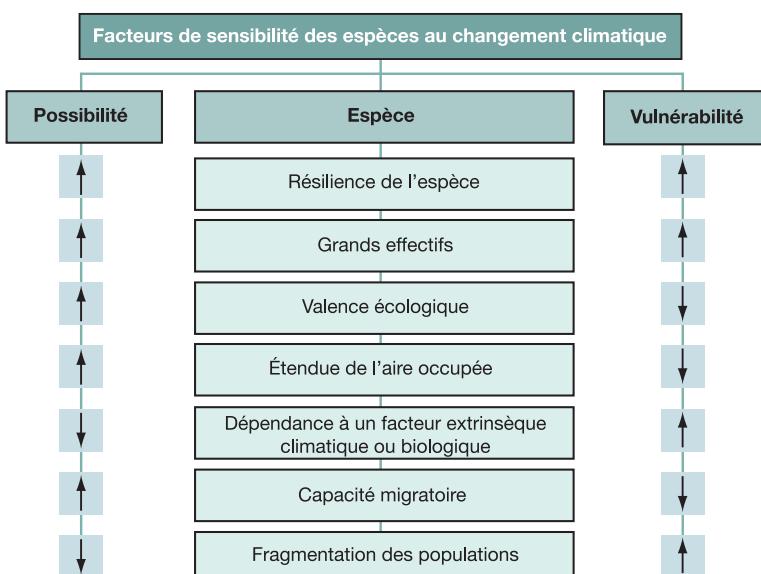
humaine peuvent favoriser certaines formations végétales à l'échelle locale, en accélérant le processus d'ouverture du territoire forestier (Gagnon, 1998; Payette, 1999; Côté et Gagnon, 2002; Jasinski et Payette, 2005).

### Stratégies d'adaptation

Pour s'adapter au changement climatique et en réduire les impacts sur la biodiversité, plusieurs actions pourraient s'imposer :

- **La résilience des écosystèmes** : l'augmentation de la connectivité et la diminution de la fragmentation entre les écosystèmes afin de maintenir l'hétérogénéité génétique semblent être des pistes efficaces.
- **Le suivi des espèces sensibles** : la Stratégie québécoise sur la diversité biologique 2004-2007 a incité chaque ministère à déterminer un ensemble d'actions et à faire rapport régulièrement de l'état d'avancement de celles-ci au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004b). Toutefois, comme le faisaient remarquer Gérardin *et al.* (2002), l'information sur la flore et la faune présente des lacunes, notamment sur la question des espaces non forestiers (p. ex., territoires forestiers non productifs, terres humides, flores subarctique et alpine) pouvant nuire à la capacité des autorités gouvernementales de faire un suivi des espèces sensibles au changement climatique.
- **Stratégie des aires protégées** : les aires protégées, territoires où certaines, voire toutes, les activités humaines sont interdites, servent à assurer la conservation de territoires ou d'écosystèmes naturels représentatifs ou rares (*voir la figure 28*). Contrairement au passé, l'approche actuelle (Stratégie des aires protégées) pour le choix des nouvelles aires protégées sous-tend « une vision holistique du territoire où l'écosystème est considéré comme une entité spatiale et où apparaît la notion de filtre brut » (Gérardin *et al.*, 2002). Toutefois, cette méthode, qui accorde une valeur prépondérante aux éléments physiques de l'écosystème, c'est-à-dire le climat, la géologie, la topographie, l'hydrologie et les sols, risque de fragiliser le futur réseau d'aires protégées et son rôle dans la protection des espèces et des écosystèmes, car le climat et l'hydrologie sont appelés à changer à moyen terme. Au niveau national, Parcs Canada a élaboré une stratégie qui tient compte du changement climatique dans son approche de gestion de la biodiversité des parcs existants (Wrona *et al.*, 2005). Au niveau municipal et privé, il ne semble pas exister de tels mécanismes. Il serait pertinent de considérer les aires protégées comme des aires témoins des régions naturelles et de leur évolution, et de les gérer en tenant compte du changement climatique à venir. Ainsi, pour favoriser l'adaptation, il conviendrait de :

- compléter dès que possible le réseau d'aires protégées afin de conserver des secteurs représentatifs de chacune des régions naturelles;
- favoriser la gestion scientifique des aires protégées, en disposant de programmes d'inventaire, de recherches et de suivi, de manière à pouvoir suivre l'évolution des



**FIGURE 27 :** Facteurs de sensibilité des espèces au changement climatique; ce dernier ne devrait pas entraîner de nombreuses disparitions d'espèces au Québec, mais des modifications dans les aires de répartition. En revanche, certaines populations disparaîtront probablement dans les écosystèmes les plus sensibles en raison de l'apparition de nouveaux facteurs limitatifs (Root et Schneider, 2002) ou d'une combinaison de facteurs anthropiques de dégradation de leur environnement.

espèces et des écosystèmes dans un contexte de changement climatique, tout en disposant également de points de comparaison avec les territoires adjacents.

#### • Modification des règles d'exploitation des ressources vivantes

**vivantes** : les changements constatés d'effectifs de certaines populations fauniques recherchées par les chasseurs et les pêcheurs commerciaux et sportifs nécessiteront un suivi plus serré afin d'éviter des pressions supplémentaires sur les espèces fragilisées ou de ralentir l'expansion de certaines espèces vers des zones où elles étaient historiquement absentes, mettant ainsi en péril d'autres espèces.

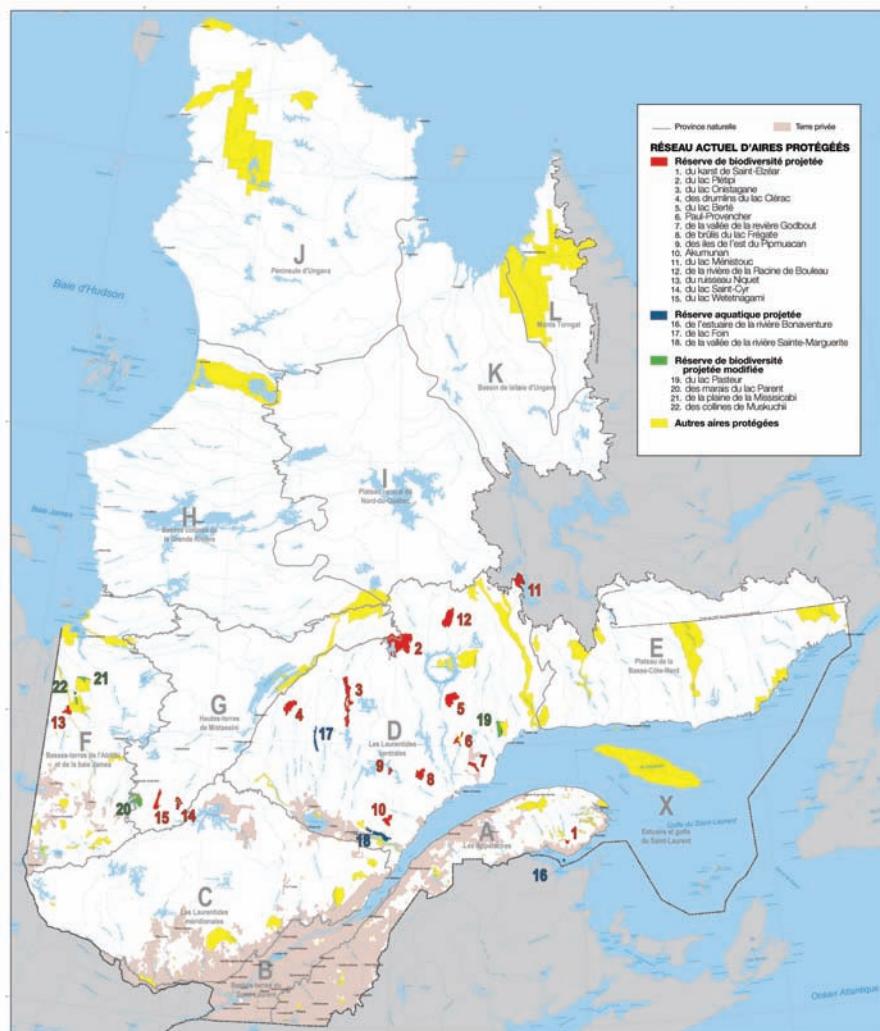
#### • Intégration du changement climatique aux activités de gestion du territoire

Génot et Barbault (2005) ont présenté une stratégie où l'enjeu de la préservation de la biodiversité dans un contexte de changement climatique est exposé en détail. Il s'agit d'étendre la responsabilité du suivi et de la gestion de la biodiversité aux gestionnaires du territoire, qui

pourraient ainsi mieux comprendre cet enjeu et mieux adapter leurs pratiques afin de favoriser l'adaptation des espèces aux nouvelles conditions.

### Conclusion : l'environnement naturel en changement à l'échelle du Québec

L'importance du climat pour les organismes vivants n'est plus à démontrer. Le changement climatique n'entraînerait pas de variations directes et continues de la composition des écosystèmes et de l'aire de répartition des espèces. Ses effets se combineraient à d'autres facteurs de dégradation de l'environnement à l'échelle locale et régionale. L'adaptation au changement climatique exigera des efforts pour réduire le stress imposé aux écosystèmes. Surtout, il faudra acquérir plus de connaissances et faire le suivi des espèces et des écosystèmes les plus susceptibles d'être vulnérables, de manière à ajuster les modes de gestion à cette nouvelle réalité.



**FIGURE 28 :** Carte des aires protégées de différentes juridictions au Québec. Le Québec comporte des aires protégées de juridiction fédérale, provinciale et municipale ainsi que des aires protégées à caractère privé. Le gouvernement du Québec vise dans sa politique de conservation à se doter d'un réseau d'aires protégées couvrant 8 p. 100 du territoire (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, communication personnelle, 2005).

## L'environnement bâti

Les sections précédentes ont traité de plusieurs aspects de la vulnérabilité d'une grande variété d'infrastructures et de bâtiments sensibles au climat. Le constat est finalement assez simple, la vaste majorité des infrastructures construites au cours du dernier siècle ont été conçues en intégrant des statistiques du climat et des risques passés, considérées comme étant représentatives des conditions climatiques futures. Ce critère est donc remis en cause, soulevant des questions de sécurité et d'efficacité des infrastructures, surtout à long terme. Heureusement, les usagers et les ingénieurs sont de plus en plus sensibilisés à cette problématique (Institut canadien des ingénieurs, 2006) et la capacité d'adaptation semble donc croissante (Infrastructure Canada, 2006). Néanmoins, les besoins en nouvelles infrastructures associées aux développements socio-économiques et les besoins de remise en état de nombreuses infrastructures vieillissantes demeureront considérables (Statistique Canada, 2006).

À long terme, les impacts directs et graduels du changement climatique (*voir la figure 1*) pourraient entraîner une dégradation accélérée ou une perte d'efficacité des divers types d'infrastructures et bâtiments. Une augmentation des cycles de gel-dégel tend à accélérer la détérioration des infrastructures recevant de grandes quantités de fondants. Les chaussées se déformeront davantage sous des températures plus élevées en saison chaude, alors que les bâtiments mal adaptés contribueront à rendre les températures intérieures un risque pour les personnes vulnérables. Au Québec, on a même constaté que les immeubles étaient parfois endommagés lors d'assèchement des sols argileux (Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1996) à la suite d'été chauds et secs. De plus, tout changement de fréquence, de la durée, de l'intensité et même de l'étendue de phénomènes atmosphériques extrêmes aurait un effet considérable sur la vulnérabilité de l'environnement bâti, d'autant plus que ces extrêmes ont tendance à se propager, selon le type d'événement, à l'hydrosphère (p. ex., inondation), la cryosphère (p. ex., embâcle) ou la lithosphère (p. ex., glissement de terrain). Il ne manque pas d'exemples au Québec où des événements climatiques à risque, considérés peu probables, se sont concrétisés, ayant une incidence sur l'environnement bâti, ainsi que sur plusieurs activités socio-économiques, les populations et même l'environnement naturel. Par exemple, la défaillance d'infrastructures aura grandement contribué aux impacts socio-économiques et environnementaux du « débâcle du Saguenay » de 1996 (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996). Une multitude d'autres défaillances liées aux vagues, surcotes ou marées dommageables après le passage de tempêtes (*voir la section 3.3*), aux glissements de terrain causés par une importante saturation ou déstabilisation du sol (Lebuis *et al.*, 1983), aux avalanches (Sécurité publique Canada, 2006) ou aux excès de précipitations sous forme solide (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999), voire même les feux de forêts, peuvent endommager l'environnement bâti.

### Adaptation des infrastructures et bâtiments

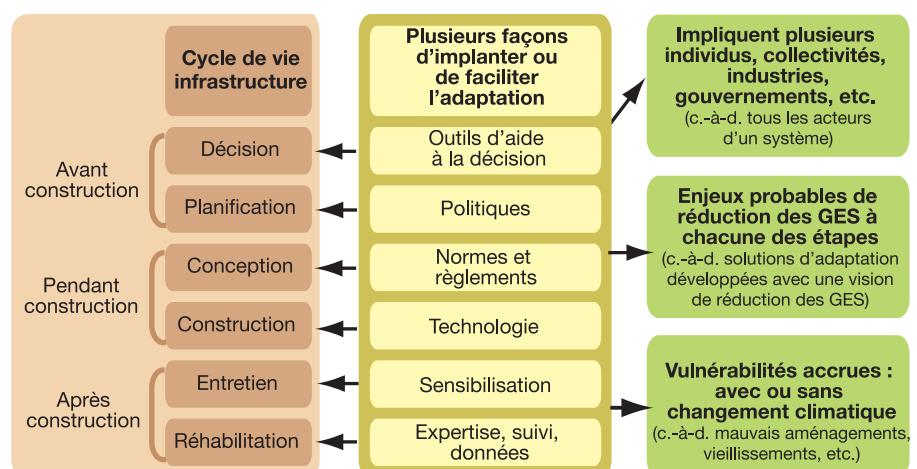
Ces événements, et ceux anticipés, ont tendance à faire réagir les responsables pour qu'ils reviennent à leurs démarches, diminuant ainsi les vulnérabilités (*voir le tableau 7 en fin de chapitre*).

Ces derniers ont ainsi, entre autres :

- commencé à réviser les critères de conception et les technologies utilisées;
- instauré des mesures d'urgence améliorées;
- structuré les réseaux de communication, tout en assurant la circulation de l'information et le transfert des connaissances;
- remis en cause des politiques d'aménagement du territoire et des règlements;
- développé des systèmes d'avertissement préventif.

Malgré ces expériences et ces apprentissages, l'adaptation planifiée afin de minimiser les impacts du changement climatique ne fait que débuter. Bien que les études portant sur ce sujet soient rares, il serait avantageux de tenir compte, dans la conception des infrastructures, de divers scénarios climatiques, lorsque disponibles, comme ce fut le cas pour le pont de la Confédération (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2000) puisqu'une fois construites, ces infrastructures sont peu adaptables et leur durée de vie est parfois longue. Pour les infrastructures qui ont une durée de vie plus courte, comme une route, il est plus facile d'introduire, au moment de leur réhabilitation, des solutions d'adaptation à moindre coût. Quant aux infrastructures critiques reliées aux services essentiels, à savoir l'énergie, l'eau, l'alimentation, les services de santé, et les transports, leur vulnérabilité doit être minimisée et faire l'objet de mesures palliatives en cas de défaillance; cependant, cette dernière considération peut être difficilement réalisable à un coût raisonnable dans le cas des régions éloignées.

En fait, des mesures d'adaptation peuvent être mises en œuvre ou introduites à différentes étapes du cycle de vie du bâti (*voir la figure 29*). Une analyse de risques soutiendrait la décision de construire ou de réhabiliter une infrastructure essentielle éloignée d'un site côtier. Elle pourrait promouvoir l'utilisation de matériaux de construction mieux adaptés, proposer une révision des critères de construction et réorienter les programmes de maintenance sur les problématiques appréhendées, bref des décisions couramment prises par les ingénieurs pour régler ou minimiser un problème.



**FIGURE 29 :** Schéma des divers types de solutions d'adaptation dans le contexte du cycle de vie d'une infrastructure. Une analyse détaillée des risques acceptables par rapport à la rentabilité permettrait de développer une stratégie afin de minimiser les risques, de maximiser l'efficacité, et serait susceptible d'offrir la possibilité de mettre en place d'autres stratégies permettant de réduire les émissions de GES à la source du changement climatique (Gosselin *et al.*, 2005).

**TABLEAU 7 :** Exemples de décisions (regroupées par types) appliquées ou en mode expérimental favorisant l'adaptation aux changements climatiques pour différentes collectivités et divers secteurs (créé aux fins du présent document). Les numéros réfèrent à des références fournies aux pages 217-218.

	Développer et comprendre	Communiquer et sensibiliser	Intervenir et légiférer	Utiliser des technologies nouvelles ou existantes	Appliquer et recommander des directives ou démarches
<b>COLLECTIVITÉS</b>					
Isolées	Acquisition d'informations et développement d'une expertise	Sensibilisation et modifications des comportements	Modifications des lois, règlements et normes	Utilisation de techniques, produits, matériaux	Ajustements des pratiques et politiques
Dépendantes des ressources naturelles	Cartographier les zones sensibles pour le développement d'infrastructures (1)	Diffuser l'information relative aux conditions des réseaux de transport (2)	Établir des normes d'aménagement du territoire en fonction des zones sensibles (2-3)	Appliquer des techniques de réduction du dégel du pergélisol (4)	Réaliser un guide de bonnes pratiques pour la construction sur pergélisol (5)
Côtières	Identifier les meilleures sources de graines/génotypes (6)	Informier les collectivités des risques de feux au moyen de l'indice forêt-météo (7)	Réglementer la pêche (date d'ouverture et de clôture, lieux, etc.) (8)	Gérer la pêche en fonction des habitats pour assurer la viabilité des ressources (8)	Mettre en place un programme de diversification économique des collectivités à risque (9)
Rurales	Création d'un projet scientifique intégré à un volet participatif afin de répondre aux besoins des régions côtières (10)	Préparer les citoyens, municipalités, gouvernements et autres acteurs à l'aide d'exercices de simulations (11)	Réglementer la construction en zones inondables, zonages, règlement de contrôle intérimaire (12)	Suivi des ouvrages de protection (13)	Établir une gestion intégrée des zones côtières (14)
Urbaines	Identifier les terrains propices aux espèces allergènes et cartographier les sources d'émissions allergènes (20)	Informier sur les mesures en cas d'urgence de la municipalité (21 -22)	Réglementer les normes de résistance dans la construction (23), Code du bâtiment en matière d'énergie (24)	Étendre l'utilisation de surfaces et de revêtements réfléchissants (toitures, peintures de façades, etc.) (25)	Mettre en place des systèmes d'alerte locale chaleur-santé-canicule (26)
<b>SECTEURS</b>					
Santé	Analyser le lien morbidité-mortalité et climat (27-28)	Sensibiliser la population aux périodes de smog et de canicule et donner des conseils (29)	Prendre des mesures préventives de limitation des émissions polluantes (en début de période anticyclonique) (30)	Procéder à des campagnes d'arrachage de l'herbe à poux et à la plantation d'espèces compétitives (20)	Utiliser les toits verts ou à matériaux à albédo élevé (12-25). Mettre en place des guides de soins adaptés pour les clientèles de soins à domicile lors d'événements extrêmes.
Infrastructures	Analyser par diachronie des photos aériennes du littoral et calculer le taux d'érosion (12)	Mettre sur pied des systèmes de prédiction et d'alerte, éducation du public (23)	Loi provinciale sur la sécurité civile adoptée en 2001 à la suite de la crise du verglas de 1998 (31)	Concevoir des bâtiments plus résistants (12) ou mieux adaptés aux nouvelles moyennes (32)	Ajout de 1 m au pont de la Confédération dû à l'élévation anticipée du niveau de la mer (38)
Secteur primaire de l'économie	Développer la lutte biologique pour contrôler les propagations (6)	Sensibiliser à une gestion des récoltes et des champs adaptée aux conditions climatiques présentes et anticipées (15)	Modification à la Loi sur les forêts pour évacuer le concept dépassé du rendement soutenu en volume (34)	Utiliser des espèces et cultivars adaptés à différentes conditions climatiques (15)	Prévoir en constituant sa propre réserve financière de secours (35)
Secteur tertiaire de l'économie	Outils d'évaluation économique (39-36)	Diversifier l'offre récréo-touristique afin de minimiser le risque climatique (37)	S'assurer contre les pertes dues au mauvais temps, produits dérivés climatiques (22)	Mettre en place des plans d'urgence, d'intervention et d'évacuation (22)	Rehausser les critères de conception des ponts et ponceaux de 10 p. 100 (génie civil, MTQ) (38)
Eau	Mettre à jour les courbes IDF (40,41)	Diffuser les pratiques de gestion de récupération des eaux de pluie (42)	Mettre en œuvre l'entente internationale sur les ressources en eau du bassin des Grands-Lacs (48)	Réhabiliter les ressources dégradées (22)	Tester, revoir les règles de gestion en se basant sur divers scénarios climatiques possibles (42)
Écosystèmes	Cartographier les niches écologiques et évaluer les changements (42)	Colloque lors d'événements de vulgarisation scientifique (44)	Maintenir une représentation faunique et floristique régionale, création de parc (aires protégées) (45)	Restaurer et préserver les terres humides (46)	Protection des espèces et des habitats (47)

L'impact de l'évolution des risques climatiques pertinents pour l'environnement bâti bénéficierait de : 1) la mise au point de meilleurs scénarios climatiques et de meilleurs scénarios d'impacts (tant sur l'environnement naturel que bâti); 2) la prise en considération de l'incertitude climatique dans l'analyse des risques au moment de la conception des infrastructures; et 3) l'intégration de nouveaux seuils de tolérance au risque, appelés à changer en fonction des besoins.

L'adaptation sous un climat stationnaire étant un champ d'expertise connu et parsemé d'histoires à succès, l'adaptation sous un climat nouveau, variable et plus incertain, s'avère un champ d'expertise

récent pour lequel les histoires à succès sont à venir, mais probablement réalisables. Par ailleurs, les solutions d'adaptation pertinentes pour les ingénieurs du secteur municipal (p. ex., un bassin de rétention en surface pour drainage urbain) peuvent devenir des problématiques majeures pour d'autres champs d'expertise touchés par le changement climatique (p. ex., le développement accru de moustiques qui peuvent propager le virus du Nil occidental).

## 4 SOMMAIRE ET CONCLUSION

La sphère d'influence des conditions météorologiques et du climat est vaste. Des impacts climatiques généralement peu documentés apparaissent graduellement et subtilement, au rythme des changements de moyennes ou des statistiques de la variabilité climatique. Jusqu'à maintenant, ces évolutions ont, dans l'ensemble, suivi à l'échelle planétaire les tendances appréhendées par le GIEC et présentées dans ses rapports. Les impacts d'événements climatiques extrêmes retiennent l'attention par leur importance, leur soudaineté et leur caractère spectaculaire, mais la difficulté d'établir un rapport direct avec le changement climatique subsiste, puisque, par définition, il s'agit d'événements rares. Globalement, on sait que l'ampleur du changement climatique, y compris certains événements extrêmes dont la fréquence, l'intensité et la durée sont projetés d'augmenter, rendra de plus en plus importants et perceptibles les impacts sur la population, l'environnement naturel et bâti, ainsi que sur les activités socio-économiques. Compte tenu de l'ampleur anticipée du changement climatique, la réaction des systèmes naturels et humains (ou l'adaptation) pourra moduler, voire transformer les impacts tantôt négatifs, tantôt positifs. Malgré les nombreuses incertitudes qui persistent et la complexité des impacts directs et indirects qui se produisent en même temps que de nombreux autres changements touchant la vulnérabilité, certains constats se dégagent de la présente analyse de synthèse dont voici les grandes lignes :

- Pour ce qui est des populations, les impacts du changement climatique – en particulier les impacts indirects issus des réactions de l'environnement naturel et bâti – entraîneraient une hausse des risques sur les plans de la santé, de la sécurité et du bien-être. L'application de mesures d'adaptation, surtout préventives et priorisées pour les populations à risque, ou en voie de l'être, minimiseraient l'ampleur des impacts négatifs, notamment la chaleur accablante, la pollution accrue, la qualité amoindrie de l'eau, l'exposition aux rayonnements UV, les zoonoses, les événements causant blessures et mortalité. Ces mesures consistent, entre autres, en une modification des comportements à risque, en une aide aux populations vulnérables et en un aménagement du territoire visant à réduire les risques climatiques.

- Pour ce qui est de l'environnement naturel, toutes les sphères du système climatique connaîtraient des transformations graduelles suivant les tendances à long terme, avec d'occasionnelles manifestations davantage perceptibles reliées aux changements de fréquence, d'intensité, de durée ou d'étendue d'événements extrêmes ou d'événements seuils. Naturellement, les paysages seraient refaçonnés sous l'effet du changement climatique, de même que l'hydrologie et la géomorphologie des cours d'eau, alors que la répartition et l'abondance relative des espèces de la flore et de la faune seraient également modifiées. À l'échelle régionale, des impacts variés déclenchaient des réactions d'adaptation spontanées et complexes. Plus que le simple déplacement d'écosystèmes vers le nord, plusieurs espèces menacées et écosystèmes rares risqueraient de disparaître, surtout dans les territoires où l'activité humaine est intense. Ces changements auraient des effets favorables et défavorables selon les régions, les usages et les perceptions. Pour ce qui est des ressources forestières, il est difficile d'anticiper leur évolution, étant donné que des impacts positifs (p. ex., taux de CO<sub>2</sub> et températures plus élevés, allongement de la saison de croissance) et négatifs (p. ex., insectes et agents pathogènes, événements climatiques extrêmes) sont à prévoir.

- De son côté, l'environnement bâti ne s'adapte pas spontanément. Par exemple, la réalisation des projets de génie qui se base en général sur une hypothèse de climat historiquement stable, devrait être revue en fonction de nouvelles données climatiques évolutives. Même si les changements de moyennes résultent en une usure accélérée ou en une perte d'efficacité des infrastructures, plusieurs de ces dernières, on le sait, seront particulièrement sensibles à une hausse de la fréquence des événements climatiques extrêmes. Ainsi, des stratégies d'adaptation appliquées en priorité aux infrastructures essentielles ou à celles dont les analyses de rentabilité le recommanderaient (coûts associés aux solutions d'adaptation contre cycles de vie des infrastructures), permettraient de limiter l'ampleur des impacts appréhendés. Dans un contexte de vieillissement généralisé de l'environnement bâti, laissant

présager une vulnérabilité accrue pour le Québec, il serait crucial d'investir dans des travaux de réhabilitation ou de recalibrage des infrastructures, ainsi que dans de nouveaux projets, afin de diminuer les risques de façon préventive, plutôt que de réagir aux événements ayant d'importants impacts directs et indirects.

- De tous les impacts appréhendés, ce sont les impacts sur les activités socio-économiques qui restent les plus difficiles à cerner. Ceux-ci dépendent, en effet, à la fois des impacts biophysiques encore mal quantifiés et de réactions complexes concomitantes, tels que les mécanismes de marché, les perceptions et les développements technologiques. Certaines activités seraient favorisées par des changements petits et graduels alors que d'autres seraient défavorisées par des changements plus grands, imprévus, ou encore, par une hausse du nombre des événements climatiques extrêmes. Si l'on commence à pouvoir estimer les impacts économiques, les impacts sociaux à moyen et à long terme, eux, relèvent plus de la spéculation. Bien que, pour le Québec, des gains et des occasions de développement économique d'une valeur annuelle estimée à plusieurs centaines de millions de dollars puissent découler du changement climatique, des pertes et des risques économiques beaucoup plus difficiles à évaluer, et dépassant largement le contexte économique, sont à craindre. Néanmoins, la capacité sur le plan socio-économique du Québec de s'adapter au changement climatique, surtout graduel, est grande par rapport à des économies moins vigoureuses et moins diversifiées. Le défi réside dans le fait de structurer les efforts afin de définir les problématiques et de mettre en place des solutions durables dans un système sociopolitique complexe. La capacité de gérer le changement permettra d'atténuer l'ampleur des impacts et de valoriser les occasions de développement à saisir.
- La sous-région nord devrait connaître le changement climatique le plus important en valeur absolue. Ce dernier viendra ajouter à la complexité des enjeux auxquels cette sous-région fait face à l'heure actuelle, associés notamment à la forte exposition des collectivités aux risques naturels, à leur dépendance face à de nombreuses infrastructures essentielles, à leur accès aux ressources et à leurs modes de vie traditionnels étroitement liés au maintien de l'environnement naturel actuel. Ainsi, il s'avère important de gérer les répercussions de la fonte du pergélisol, des modifications des régimes de glace et de neige ainsi que de la transformation de la biosphère, en particulier la précarisation des espèces dépendantes de la glace de mer, en même temps que de la forte croissance démographique, des nombreux enjeux de développement et des importants changements socio-économiques. Des occasions de développement liées à la navigation, à la production d'énergie, au secteur minier dans des conditions hivernales moins froides et à une diversification de la faune et de la flore sont possibles. Bien que l'on vise à minimiser les coûts des impacts et de l'adaptation, les enjeux portent surtout sur la sécurité, la santé et le bien-être de populations vulnérables en raison de leur isolement. Les études d'impacts environnementaux de nouveaux projets de développement devraient nécessairement tenir compte du changement climatique.
- La sous-région centrale, aux vastes étendues de ressources naturelles, pourrait voir son environnement se transformer et

ses secteurs économiques améliorer leur productivité, comme l'hydroélectricité, grâce à des apports annuels en eau plus importants, ou encore la forêt, en raison d'une croissance plus rapide constatée dans des climats moins froids. Ce scénario demeure toutefois incertain pour plusieurs raisons, à savoir des observations historiques limitées et des tendances récentes inconsistantes, le manque de connaissances sur le plan de la phénologie des espèces et de l'hydrologie régionale, des outils d'évaluation en voie d'élaboration, des risques accrus reliés aux événements climatiques extrêmes mal connus, l'incertitude des scénarios hydroclimatiques, complexité de la dynamique des écosystèmes et impacts sur le prix des ressources sur les marchés continentaux. De plus, compte tenu de la documentation limitée portant sur cette sous-région peu peuplée, il est probable que de nombreux impacts environnementaux et sociaux pouvant être considérés comme indésirables soient complètement inconnus à ce jour.

- La sous-région maritime, pour sa part, est fortement exposée aux aléas climatiques et à l'hydroosphère. Ses collectivités, côtières et partiellement isolées, présentent une grande vulnérabilité socio-économique, accentuée au cours de la dernière décennie par l'affondrement des industries de la pêche et de la forêt. De plus, le processus d'érosion côtière en cours s'accélérant, il entraînerait une plus grande vulnérabilité des infrastructures, de l'environnement bâti ou encore des attractions touristiques. Une gestion intégrée, comprenant une bonne planification, ainsi qu'un aménagement soutenu et anticipé semblent représenter la meilleure stratégie d'adaptation afin de limiter les impacts de ce phénomène. L'un des grands défis des prochaines décennies est sans contredit la gestion et la prévention des impacts dans ces régions à risque croissant.
- La sous-région sud pourrait profiter, quant à elle, d'une productivité accrue des cultures si les problèmes de disponibilité d'eau et de variabilité climatique étaient limités. En outre, une hausse des températures aura pour effet de réduire la consommation annuelle d'énergie. Par contre, que ce soit en milieu rural ou en milieu urbain, l'environnement bâti ne sera pas optimisé en fonction du climat appréhendé. Ainsi, cette sous-région qui caractérise une densification et une hausse de sa population, l'interdépendance complexe de ses infrastructures, la tertiarisation de son économie associée à l'évolution des marchés internationaux, un tissu social en évolution et une population de plus en plus désensibilisée aux conditions climatiques, rassemble beaucoup de facteurs pouvant générer des impacts nombreux, complexes, et parfois coûteux, surtout reliés à une augmentation de fréquence, d'intensité ou de durée des événements climatiques extrêmes. Les changements appréhendés du cycle de l'eau et les impacts sur les nombreux usages de la ressource hydrique soulèvent des préoccupations quant à la pérennité de celle-ci et à la sécurité des populations face aux inondations. Enfin, une série d'autres impacts indirects, souvent peu documentés et se confondant à des événements sans lien avec le changement climatique, auront une incidence sur la biodiversité régionale ainsi que sur la santé, la sécurité et le bien-être des populations de même que sur les perceptions, les prix des biens et services saisonniers, l'immigration, le tourisme et les loisirs. Afin de réduire les risques, on devrait, entre autres, appliquer des solutions aussi diversifiées que l'intégration de la notion d'adaptation au changement climatique aux lois, aux

normes de construction et aux politiques organisationnelles, et accentuer les efforts faits auprès de la population pour la sensibiliser davantage à ce changement. Bien qu'une planification tenant compte d'impacts anticipés puisse contribuer à l'adaptation, une variété d'informations, d'outils et de politiques pourra aussi rendre la société plus résiliente, sinon au changement climatique, du moins à ses impacts.

Manifestement, les solutions d'adaptation viennent s'ajouter aux efforts investis dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le contexte des défis que posent le changement climatique. Depuis des siècles, les systèmes humains ont eu tendance à réagir aux impacts de la variabilité naturelle du système climatique de manière à diminuer leur exposition au climat et à augmenter leur capacité d'adaptation et leur résilience. Quant aux actions permettant de faire face aux inconnus climatiques futurs, un résumé d'une variété de stratégies d'adaptation existantes ou à l'étude, appliquées et applicables aussi bien à des collectivités qu'à des activités socio-économiques est présenté au tableau 7. On y observe que les systèmes humains auront tendance à s'adapter de différentes façons pour minimiser les impacts négatifs ou pour y faire face, ou encore pour optimiser les occasions de développement. Le tableau permet aussi de constater à quel point les acteurs de l'adaptation sont nombreux (individus, collectivités, industries, instances provinciales, fédérales et internationales), que le temps d'intervention est de durée variable (décision à court terme, planification à long terme) et que les stratégies ciblent différents obstacles à l'adaptation.

Ces stratégies sont regroupées en cinq catégories :

- **développer et comprendre** en vue d'acquérir des informations;
- **communiquer et sensibiliser** dans le but d'accroître le degré de sensibilisation et de modifier les comportements;

- **intervenir et légiférer** afin de modifier des lois, règlements et normes;
- **appliquer des technologies nouvelles ou existantes** en ayant recours à des techniques, produits et matériaux;
- **appliquer et recommander des directives ou démarches** pour fournir des exemples d'ajustements de pratiques ou de politiques internes.

Ainsi, on peut se faire une idée de ce qui pourrait être amené à se généraliser dans l'avenir.

Les défis que devra relever le Québec, au même titre que l'ensemble des habitants de la planète, sont immenses et teintés d'incertitudes. Comme l'indique le chapitre 10, pour arriver à relever le défi du changement climatique, il faudra disposer de plusieurs outils ou développer plusieurs habiletés : 1) davantage de données pertinentes et de qualité pour comprendre; 2) meilleur suivi et système d'avertissement pour se préparer; 3) interaction accrue entre les chercheurs et les acteurs politiques et opérationnels de l'adaptation afin de faciliter le transfert de technologies; 4) leadership et ouverture d'esprit de l'ensemble de la société afin de déterminer et de prioriser les problèmes et de remettre en question au bon moment et de la bonne façon; 5) multidisciplinarité et interdisciplinarité croissantes, tout en maintenant les efforts dans diverses spécialités des sciences climatiques, des autres sciences biophysiques, des sciences économiques, des sciences sociales et des sciences de la santé.

Enfin, les perceptions et les comportements, les processus et les facteurs menant aux prises de décisions, de même que les aspirations et les convictions des individus et des collectivités, apparaissent comme des éléments fondamentaux dans l'adaptation des systèmes humains. Car, en fin de compte, c'est bien entre les mains de ces hommes et de ces femmes qui prendront les décisions que repose l'avenir.

## RÉFÉRENCES DU TABLEAU 7

- (1) Ministère des Transports du Québec. *Adapter les transports aux changements climatiques. Dégel du pergélisol*, Ministère des Transports du Québec, 2005, <<http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/ministere/environnement/climat/pergelisol.asp>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (2) Journée technique. *Le changement climatique au Québec nordique et ses enjeux*, Journée technique tenue le 3 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005, <[http://www.ouranos.ca/doc/nord\\_f.html](http://www.ouranos.ca/doc/nord_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (3) Karstein L. et U. Domaia. *Évaluation des risques d'avalanche au Nunavik et sur la Côte-Nord du Québec, Canada*, Institut géotechnique de Norvège, rapport réalisé pour le Ministère de la sécurité publique du Québec, 2000, 35 p.
- (4) Doré G. et I. Beaulac. *Impacts du dégel du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier au Nunavik et adaptations - état des connaissances*, Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec (Québec), 2005, 141 p.
- (5) Allard, M., R. Fortier et O. Gagnon. *Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik. Québec*, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec (Québec), 2002, 121p.
- (6) Beaulieu, J. et A. Rainville. « Adaptation to climate change: Genetic variation is both a short-term and a long-term solution », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 704-709.
- (7) Environnement Canada. *Site Internet*, Environnement Canada, 1997, <[http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/fr/current/cc\\_fw\\_f.php](http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/fr/current/cc_fw_f.php)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (8) Irvine, J. *Climate Change, Adaptation, and 'Endangered' Salmon in Canada*, comptes rendus de la conférence Species at Risk 2004 Pathways to Recovery tenue du 2 au 6 mars 2004 à Victoria (Colombie-Britannique), 2004.
- (9) Développement économique Canada. *Section Programme développement économique Canada-Régions du Québec*, Développement économique Canada, 2007, <[http://www.dec-ced.gc.ca/ASP/ProgrammesServices/ProgrammesServices\\_intro.asp](http://www.dec-ced.gc.ca/ASP/ProgrammesServices/ProgrammesServices_intro.asp)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (10) Ouranos. Programme *Environnement maritime*, Ouranos, 2007, <<http://www.ouranos.ca>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (11) Journée de présentation. *Changement climatique et usages de l'eau dans le bassin versant de la Châteauguay*, Ouranos, 2007, <[http://www.ouranos.ca/doc/chateauguay\\_fev2004\\_f.html](http://www.ouranos.ca/doc/chateauguay_fev2004_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (12) Mehdi, B., C. Mrena et A. Douglas. *S'adapter aux changements climatiques: une introduction à l'intention des municipalités canadiennes*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005, 35 p.
- (13) Morneau, F. *Étude d'impact sur l'environnement : projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne*, rapport principal, Ministère des Transports du Québec, 2001, 83 p.
- (14) Dubois, J.M., P. Bernatchez, J.-D. Bouchard, B. Daigneault, D. Cayer et S. Dugas. *Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte Nord du St-Laurent pour la période de 1996 à 2003*, Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, rapport présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006, 291 p., <[http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com\\_docman/task,cat\\_view/gid,33/Itemid,77/](http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,33/Itemid,77/)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (15) Bélanger, G., P. Rochette, Y. Castonguay et A. Bootsma. *Impact des changements climatiques sur les risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes*, rapport remis au Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2001.
- (16) Agriculture et agroalimentaire Canada. *Monitoring Drought on the Canadian Agricultural Landscape*, Prairie Agroclimate Unit/National Agroclimate Information Service, Atelier agrométéorologique tenu les 9 et 10 décembre 2002 à Dorval (Québec), Agriculture et agroalimentaire Canada, 2002.
- (17) Smit, B. et E. Wall. *Adaptation to climate change challenges and opportunities : implications and recommendations for the Canadian agri food sector*, Comité permanent du Sénat sur la foresterie et l'agriculture, Ottawa (Ontario), 2003.

- (18) Cyr, J.-F. et R. Turcotte. *Bassin de la rivière Châteauguay: projet du CEHQ et Hydrotel*, Atelier Ouranos sur la rivière Châteauguay, 24 février 2005
- (19) Lemmen, D.S. et F.J. Warren. « Agriculture », dans *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, pp. 59-69.
- (20) Garneau, M., M.C. Breton, F. Guay, I. Fortier, M.F. Sottile et D.Chaumont. *Hausse des concentrations des particules organiques (pollens) causée par le changement climatique et ses conséquences sur les maladies respiratoires des populations vulnérables en milieu urbain*, Projet A571 du Fonds d'action pour le changement climatique – sous-composante Impacts et Adaptation, 2006, 133 p., <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Garneau.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (21) Heatwave Plan for England Reducing Harm from Protecting Health and Extreme Heat and Heatwaves, édition 2005, 16 p.
- (22) ONERC. *Un climat à la dérive : comment s'adapter ?*, rapport présenté au Premier ministre et au Parlement, 2005, <<http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/nercdocfrancaise.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (23) McBean, G. et D. Henstra. Climate Change, Natural Hazards and Cities, Institut de prévention des sinistres catastrophiques, préparé pour Ressources naturelles Canada, 2003, 18 p.
- (24) Kirshen, P., M. Ruth, et W. Anderson. *Integrated Impacts of Climate Change on and Adaptation Strategies for Metropolitan Areas: A Case Study of Metropolitan Boston*, World Water & Environmental Resources Congress, 2005, Impacts of Global Climate Change, Anchorage, Alaska, 2005.
- (25) Ducas, S. *Conférence sur le plan d'urbanisme de la Ville de Montréal*, 8<sup>e</sup> Journées annuelles de la santé publique, 30 novembre 2004.
- (26) Ebi, K.L., T.J. Teisberg, L.S. Kalkstein, L. Robinson et R.F. Weiher. "Heat Watch/Warning Systems Save Lives- Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995-98", *Bulletin of American Meteorological Society*: vol. 85, 2004, pp. 1067-1073.
- (27) Doyon, B., D. Bélanger et P. Gosselin. *Les impacts des changements climatiques sur la mortalité dans la province de Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006.
- (28) Giguère, M. et P. Gosselin. *Impacts des événements climatiques extrêmes sur la santé : examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006a, 27 p.
- (29) Ministère de la Santé et des Services sociaux. *Quand il fait chaud pour mourir*, Ministère de la Santé et des Services sociaux, 2004, <<http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2004/04-269-01.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (30) ONERC. *Collectivités locales et changement climatique : êtes-vous prêt ? Un guide pour l'adaptation à l'attention des collectivités locales*, ONERC, 2005, <[http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/guide\\_adaptation\\_2e\\_ed.pdf](http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/guide_adaptation_2e_ed.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (31) Gouvernement du Québec. *Loi provinciale sur la sécurité civile*, Gouvernement du Québec, <[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S\\_2\\_3/S2\\_3.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_3/S2_3.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (32) Revue des critères des projets de l'Agence d'efficacité énergétique, communication personnelle.
- (33) Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, <[http://www.elements.nb.ca/theme/climate03/cciarn/adapting\\_f.htm](http://www.elements.nb.ca/theme/climate03/cciarn/adapting_f.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (34) Actes du colloque sur le changement climatique et la foresterie : impacts et adaptation, Baie-Comeau (Québec), les 20 et 21 avril 2005.
- (35) Bryant, C., B. Singh, P. Thomassin et L. Baker. *Vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques au Québec au niveau de la ferme: leçons tirées de la gestion du risque et de l'adaptation à la variabilité climatique par les agriculteurs*, Ouranos, 2007, 49 p., <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Bryant.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (36) Desjardais, C. *Guide pour décider sur l'adaptation aux changements climatiques*, projet Ouranos, sous presse voire également les outils d'évaluation économique par UKCIP, <<http://www.ukcip.org.uk/resources/tools/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (37) Singh, B., C. Bryant, P. André et J.-P. Thouez. *Impact et adaptation aux changements climatiques pour les activités de ski et de golf et l'industrie touristique: le cas du Québec*, rapport final, projet Ouranos, 2006, <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/tourisme.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- (38) Ministère des Transports du Québec. Présentation faite le 2 juin 2006 à Sept-Îles, Ministère des Transports du Québec, 2006.
- (39) Dore, M.H.I. et I. Burton. *The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions*, rapport préparé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, 2001.
- (40) Milton, J., K.-H. Lam, S. Trentin et N. Jean-Grégoire. « Vers une réduction de la vulnérabilité des municipalités aux phénomènes atmosphériques extrêmes », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005.
- (41) Mailhot, A., Rivard, G., Duchesne, S. et Villeneuve, J.-P. (2007). *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec*, INRS-ETE. 144 p.
- (42) Fortin, L.G., R. Turcotte, S. Pugin, J.F. Cyr et F. Picard. Impact des changements climatiques sur les plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer au Sud du Québec, *Revue canadienne de génie civil*, (sous presse).
- (43) Thuiller, W. « BIOMOD: Optimising predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change », *Global Change Biology*, vol. 9, 2003, pp. 1353-1362 et *Nature*, vol. 425, 2003, p. 914.
- (44) Ouranos. *Biodiversité et changement climatique*, Atelier de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences, tenu le 13 mai 2005, <[http://www.ouranos.ca/doc/ACFAS\\_f.html](http://www.ouranos.ca/doc/ACFAS_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- (45) Gerardin, V. et D.I. McKenney. *Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec*, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Ministère de l'Environnement du Québec, contribution du Service de la cartographie écologique, 2001.
- (46) Klein, J.T., J. Aston, E.N. Buckley, M. Capobianco, N. Mizutani, R.J. Nicholls, P.D. Nunn et S. Ragoonaden. « Coastal-adaptation technologies », chapitre 15 dans *Special Report on Technology Transfer*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (éd.), Genève, Suisse, 2000.
- (47) Wrona, F., T. Prowse, J. Reist, R. Beamish, J.J. Gibson, J. Hobbie, E. Jeppesen, J. King, A. Korhola, R. Macdonald, M. Power, V. Skvortsov, G. Keock, W. Vincent et L. Levesque. « Freshwater Arctic Ecosystems », chapitre 7 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 353-452.
- (48) Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2005, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/grandslacs/2005/Entente.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].

## 5 REMERCIEMENTS

Le présent rapport est le fruit du travail accompli par de nombreux scientifiques qui ont joué le rôle de collaborateurs ou réviseurs. Nous voudrions leur exprimer nos sincères remerciements pour leur contribution et reconnaître en outre les institutions dont ils relèvent pour avoir appuyé leur participation.

Nous remercions Steve Arsenault, Louis Belzile, Guy Bergeron, Denis Demers, Michel Michaud, Roxanne Fraser, Gilles Grondin, Anick Guimond et Kathy Rouleau du Ministère des Transports du Québec, Michel Campagna et Marc Mingelbier du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Jean-François Cyr du Centre d'études hydrauliques du Québec ainsi que Monique

Plamondon du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Nous remercions également Louis Théberge du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, et Jean-Philippe Détolle du Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation du Québec, Anne Debrabandere et Caroline Larrivée à Ouranos, Denis Isabel de SNC Lavalin Inc. et Hervé Logé de la Ville de Montréal. Enfin, nous saluons la contribution de Jean Morin d'Environnement Canada, Jean Paquette de Ressources naturelles Canada, Jean-Pierre Trudeau de l'Ordre des ingénieurs du Québec et enfin Liette Vasseur de l'Université Laurentienne.

# RÉFÉRENCES

- Adger, W.N. « Social capital, collective action and adaptation to climate change », *Economic Geography*, vol. 79, n° 4, 2003, <<http://www.uea.ac.uk/env/people/adgerwn/EconGeog2003.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Agence canadienne d'évaluation environnementale. *Examen des facteurs de changement climatique dans des évaluations environnementales antérieures choisies. Annexe D. Pont de la Confédération*, Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2000, <[http://www.ceaa-acee.gc.ca/015/001/005/appendixD\\_f.htm](http://www.ceaa-acee.gc.ca/015/001/005/appendixD_f.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux. *Algues bleues : cyanobactéries*, Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux, 2003, <[http://www.regie-monteregie.gouv.qc.ca/Menu\\_Gauche/4-Publications/6-Dépliants\\_Guides\\_Outils\\_Information/Sante\\_Environnementale/DSP\\_pub\\_Dépliant\\_cyanobacteries\\_fr.pdf](http://www.regie-monteregie.gouv.qc.ca/Menu_Gauche/4-Publications/6-Dépliants_Guides_Outils_Information/Sante_Environnementale/DSP_pub_Dépliant_cyanobacteries_fr.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie. *Table québécoise sur l'herbe à poux*, Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie, 2007, <<http://www.rssst16.gouv.qc.ca/santepublique/protection/environnement/Qualiteairextérieur/tqhp/index.html>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Les algues, les cyanobactéries et la qualité de l'eau*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2003, <[http://www.agr.gc.ca/fpra/water/algacyano\\_f.htm](http://www.agr.gc.ca/fpra/water/algacyano_f.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ainsworth, E.A. et S.P. Long. « What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub> », *New Phytologist*, vol. 165, n° 2, 2005, pp. 337-653.
- Albanese, B., P.L. Andermeier et S. Dorai-Raj. « Ecological correlates of fish movement in a network of Virginia streams », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 61, 2004, pp. 857-869.
- Albert C., R. Roulx et P. Richard. *Chaleur accablante et usage de médicaments : étude exploratoire en Estrie*, Institut national de santé publique du Québec, Bulletin d'information en santé environnementale, vol. 17, n° 3, 2006, pp. 5-8, <<http://www.inspq.qc.ca/pdf/bulletins/bise/BISE-17-3.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Allard, M., R. Fortier, C. Duguay et N. Barrette. *A new trend of fast climate warming in Northern Quebec since 1993. Impacts on permafrost and man-made infrastructures*, réunion d'automne 2002 de l'American Geophysical Union, Moscone Center, San Francisco, Californie, 2002a.
- Allard, M., R. Fortier et O. Gagnon. *Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik, Québec*, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec (Québec), 2002b, 121p.
- Allard, M., R. Fortier, O. Gagnon et Y. Michaud. *Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik. Une communauté en croissance sur un terrains sensible au changement climatique*, rapport final, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec (Québec), 2004, 101 p., <<http://www.uranrus.ca/doc/Rapports%20finaux/Allard.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Allen, M.R. et W.J. Ingram. « Constraints on Future Changes in Climate and the Hydrologic Cycle », *Nature*, vol. 419, 2002, pp. 224-232.
- American Water Works Association. *Manual of water supply practices - M48: Waterborne pathogens*, First Edition, Denver, Colorado, 1999, 285 p.
- André, P. et C.R. Bryant. *Évaluation environnementale des stratégies d'investissement des producteurs agricoles de la région de Montréal en regard des changements climatiques*, rapport remis au Fond d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, mai 2001.
- Arctic Climate Impact Assessment. *Impacts of a warming Arctic*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2004, 140 p., <<http://www.acia.uaf.edu>>.
- ArticNet. Site Internet Web ArcticNet, ArticNet, 2006, <<http://www.arcticnet-ulaval.ca/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ashmore, P. et M. Church. *The Impact of Climate Change on Rivers and River Processes in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 555, 2001.
- Ayres, M.P. et M.J. Lombardero. « Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens », *Science of the Total Environment*, vol. 262, n° 3, 2000, pp. 263-286.
- Bacal, R. *The Importance of Leadership in Managing Change*, 2006, <<http://performance-appraisals.org/Bacalsappraisalarticles/articles/leadchange.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Bagon M., J.L. Harper et C.R. Townsend. *Ecology. Individuals, Populations and Communities*, 3<sup>e</sup> édition, Blackwell Science, Oxford, Royaume-Uni, 1996, 1068 p.
- Banken, R. et P. Comtois. « Concentration du pollen de l'herbe à poux et prévalence de la rhinite allergique dans deux municipalités des Laurentides », *L'Union médicale du Canada*, vol. 119, n° 4, 1990, pp. 178-183.
- Barrow, E., B. Maxwell et P. Gachon (éd.). *Climate Variability and Change in Canada: Past Present and Future*, Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Direction de la science atmosphérique et climatique, Série des évaluations scientifiques n° 2, 2004, 114 p.
- Beaubien, E.G. et H.J. Freeland. « Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature », *International Journal of Biometeorology*, vol. 44, n° 2, 2000, pp. 53-59.
- Beaulac, I. et G. Doré. *Impacts du dégel du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier au Nunavik et adaptations - état des connaissances*, Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec (Québec) 2005, 141 pp.
- Beaulieu, N. et M. Allard. « The impact of climate change on an emerging coastline affected by discontinuous permafrost: Manitoulin Strait, Northern Quebec », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 40, n° 10, 2003, pp. 1393-1404.
- Bégin, Y. *Le changement climatique en cours dans le nord du Québec*, mémoire du Centre d'études nordiques déposé à la Commission parlementaire sur les transports et l'environnement, 2006, <<http://www.assnat.qc.ca/fra/37legislature2/commissions/Cte/depot-rechauffement.html>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Bélanger D., P. Gosselin, P. Valois et B. Abdous. *Vagues de chaleur au Québec méridional : adaptations actuelles et suggestions d'adaptations futures*, Institut national de santé publique du Québec, 2006, <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?I=p&NumPublication=538>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Bélanger, G., P. Rochette, Y. Castonguay, A. Bootsma, D. Mongrain et D.A.J. Ryan. « Climate change and winter survival of perennial forage crops in Eastern Canada », *Agronomy Journal*, vol. 94, 2002, pp. 1120-1130.
- Bergeron, Y., M. Flannigan, S. Gauthier, A. Leduc et P. Lefort. « Past, current and future fire frequency in the Canadian boreal forest: implications for sustainable forest management », *Ambio*, vol. 33, n° 6, 2004, pp. 356-360.
- Bernatchez, P. et M.-M. Dubois. « Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58, n° 1, 2004, pp. 45-71.
- Bernatchez, P., et R. Leblanc. *Impacts morphosédimentologiques et écologiques du pied de glace sur un littoral sableux : exemple du delta Manic-Outardes, estuaire maritime du Saint-Laurent*, Congrès de l'Association québécoise pour l'étude du Quaternaire, tenu du 22 au 27 août 2000 à Montréal (Québec) 2000.
- Bernier, L., P. Lachance, L. Quilliam et D. Gingras. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent - La contribution des activités urbaines à la détérioration du Saint-Laurent*, Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Sainte-Foy (Québec), Rapport technique, 1998.
- Bernier, P.Y. et D. Houle. *Les changements climatiques et la productivité forestière*, comptes-rendus du colloque Changements climatiques et foresterie : impacts et adaptation, tenu les 20 et 21 avril 2005 à Baie-Comeau (Québec) 2006.
- Besancenot, J.-P. « Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines », *Environnement, Risques et Santé*, vol. 1, n° 4, 2004, pp. 229-240.
- Blanchard, D. et F. Pouliot. « Comment diminuer l'impact des températures chaudes durant l'été », *Porc Québec*, vol. 14, n° 1, 2003, pp. 75-76.
- Bootsma, A., D. Anderson et S. Gameda. *Indices potentiels du changement climatique sur les indices agroclimatiques dans les régions du sud de l'Ontario et du Québec*, Centre de recherches de l'est sur les céréales et les oléagineux, Agriculture et agroalimentaire Canada Bulletin technique no 03-284, 2004, <[http://res2.agr.gc.ca/ecorc/tb03284/index\\_f.htm](http://res2.agr.gc.ca/ecorc/tb03284/index_f.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Bootsma, A., S. Gameda et D.W. McKenny. « Impacts of potential climate change on selected agroclimatic indices in Atlantic Canada », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 85, 2005a, pp. 329-343.
- Bootsma, A., S. Gameda et D.W. McKenny. « Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 85, 2005b, pp. 345-357.
- Booty, W., D. Lam, G. Bowen, O. Resler et L. Leon. « Modelling changes in stream water quality due to climate change in a southern Ontario watershed », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 30, n° 3, 2005, pp. 211-226.
- Boudren, M., B. Moulin, P. Gosselin, C. Back, B. Doyon, D. Gingras et G. Lebel. « La géo-simulation de l'infection au virus du Nil occidental en fonction du climat : un outil de gestion du risque en santé publique », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) tenu du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005, <[http://www.adaptation2005.ca/posters/boudren\\_f.htm](http://www.adaptation2005.ca/posters/boudren_f.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Bourgault, D. Circulation and mixing in the St.Lawrence Estuary, thèse de doctorat, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences et Centre for Climate and Global Change Research, Université McGill, Montréal (Québec), 2001, 127 p.
- Bourgeois, G., A. Bourque et G. Deaudelin. « Modelling the impact of climate change on disease incidence: a bioclimatic challenge », *Revue canadienne de phytopathologie*, vol. 26, 2004, pp. 284-290.
- Boutin, R. et G. Robitaille. « Increased soil nitrate losses under mature sugar maples affected by experimentally induced deep frost », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 25, 1995, pp. 588-602.
- Boyer C., V. Bondue, P. Biron, M. Lamothe, A.G. Roy et J. Morin. « Modélisation des effets des fluctuations du niveau d'eau du fleuve St-Laurent sur les ajustements des tributaires et le transport des sédiments », dans *Eau et changements climatiques: comprendre pour mieux s'adapter / Water and Climate Change / Knowledge For Better Adaptation*, 57<sup>e</sup> congrès annuel 2004 de l'Association canadienne des ressources hydriques, programme et résumés sur papier, comptes-rendus sur céderom, 2004.
- Bradshaw, B., H. Dolan et B. Smit. « Farm-Level Adaptation to Climatic Variability and Change: Crop Diversification in the Canadian Prairies », *Climatic Change*, vol. 67, 2004, pp. 119-141.
- Bretton, M.-C., M. Garneau, I. Fortier, F. Guay et J. Louise. « Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994-2002 », *Science of the Total Environment*, vol. 370, n° 1, 2006, pp. 39-50.
- Brissette, F., R. Leconte, C. Marche et J. Roussel. « Historical evolution of flooding damage on a USA/Quebec River Basin », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 39, n° 6, 2003, pp. 1385-1396.
- Brodeur P., M. Mingelbier et J. Morin. « Impacts des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés du Saint-Laurent fluvial », *Naturaliste canadien*, vol. 128, n° 2, 2004, pp. 66-77.

- Brodeur P, M. Mingelbier et J. Morin. « Impact de la régularisation du débit des Grands Lacs sur l'habitat de reproduction des poissons dans la plaine inondable du fleuve Saint-Laurent », *Naturaliste canadien*, vol. 130, n° 1, 2006, pp. 60-68.
- Brooks, J.R., L.B. Flanagan et J.R. Ehleringer. « Responses of boreal conifers to climate fluctuations: indications from tree-ring widths and carbon isotope analyses », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 28, n° 4, 1998, pp. 524-533.
- Bruce, J. *Analyse des répercussions d'une onde de tempête dans la région de Charlottetown à l'Île-du-Prince-Édouard*, Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile, 2003, 47 p., <[http://www.ocipep.gc.ca/research/resactivities/natHaz/SAIC\\_2001D005\\_f.pdf](http://www.ocipep.gc.ca/research/resactivities/natHaz/SAIC_2001D005_f.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Bryant, C.R., B. Singh, S. DesRoches, P. Thomassin, L. Baker, C. Madramootoo, K. Delusca et M. Savoie. *Climate variability and Quebec: lessons for farm adaptation from an analysis of the temporal and spatial patterns of crop insurance claims in Quebec*, communication présentée au Congrès national sur l'adaptation aux changements climatiques, Montréal (Québec), mai 2005.
- Bryant, C., B. Singh, P. Thomassin et L. Baker. *Vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques au Québec au niveau de la ferme: leçons tirées de la gestion du risque et de l'adaptation à la variabilité climatique par les agriculteurs*, Ouranos, 2007, 49 p., <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Bryant.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Budyko, M.I. « Climate and life », dans *International Geographic Series*, D.H. Miller (éd.), Academic Press, New York, New York, 1974, 508 p.
- Bunce, J.A. « Carbon dioxide effects on stomatal responses to the environment and water use by crops under field conditions », *Oecologia*, vol. 140, 2004, pp. 1-10.
- Caron, A. *Calibration et validation d'un générateur de climat dans le contexte des changements climatiques*, mémoire de maîtrise, École de technologie supérieure, 2005, 135 p.
- Casselman, J.M. « Effects of temperature, global extremes, and climate change on year-class production of warmwater, coolwater, and coldwater fishes in the Great Lakes Basin », *American Fisheries Society Symposium*, vol. 32, 2002, pp. 39-60.
- Cavey, J.F., E.R. Hoebeke, S. Passoa et S.W. Lingafelter. « A new exotic threat to North American hardwood forests: an Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae). I. Larval description and diagnosis », *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, vol. 100, n° 2, 1998, pp. 373-381.
- Charron, D., C. Schuster-Wallace et D. Noble. *La vulnérabilité des Canadiens aux maladies d'origine hydrique et alimentaire*, 2005, <[http://adaptation2005.ca/abstracts/charron\\_f.html](http://adaptation2005.ca/abstracts/charron_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Chaumont, D. *Développement de scénarios climatiques à des fins de prévision de la demande énergétique au Québec pour les besoins de chauffage et de climatisation*, Ouranos, Rapport technique, 2005, 23 p., <[http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Chaumont\\_energie.pdf](http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Chaumont_energie.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Chaumont, D. et I. Chartier. *Développement de scénarios hydrologiques à des fins de modélisation de la dynamique sédimentaire des tributaires du Saint-Laurent dans un contexte de changements climatiques*, Ouranos, Rapport technique, 2005, 37 p.
- Chin, J. *Control of communicable diseases in Man*, American Public Health Association, Washington, DC, 2000.
- Chu, C., N.E. Mandrak et C.K. Minns. « Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada », *Diversity & Distributions*, vol. 11, n° 4, 2005, pp. 299-310, doi: 10.1111/j.1366-9516.2005.00153.x
- Cohen, S. et K. Miller. « North America », 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. 735-800, <<http://www.GIEC.ch/pub/reports.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Colombo, S.J. « Climatic warming and its effect on bud burst and risk of frost damage to white spruce in Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 74, n° 4, 1998, pp. 567-577.
- Comité d'experts sur l'érosion des berges de la Côte-Nord. *Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent (1996-2003)*, présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006.
- Commission de la santé et de la sécurité du travail. *Travailler à la chaleur - attention!*, Commission de la santé et de la sécurité du travail, 2004, <[http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publication/DC\\_100\\_1125\\_1.htm](http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publication/DC_100_1125_1.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Commission mixte internationale. *Avis aux gouvernements concernant l'examen de l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, Commission mixte internationale, 2006, <<http://www.ijc.org/rel/pdf/advicefinalfrwrc.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Conseil canadien des ministres en environnement. De la source au robinet : guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau saine, Conseil canadien des ministres en environnement, 2005a, <<http://www.ccme.ca/sourcetotap/mba.fr.html>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Conseil canadien des ministres en environnement. *Fiches d'information sur les contaminants*, Conseil canadien des ministres en environnement, 2005b, <<http://www.ccme.ca/sourcetotap/infosheets.fr.html>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Côté, D. et R. Gagnon. *Régression des forêts commerciales d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP) à la suite de feux successifs*, actes du colloque « L'aménagement forestier et le feu » tenu les 9 et 10 avril 2002 à Chicoutimi (Québec), Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts, 2002, 162 p.
- Côté, M., J. Lachance, C. Lamontagne, M. Nastev, R. Plamondon et N. Roy. *Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay*, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, en collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, 2006, 64p.
- Croley, T.E. *Great Lakes Climate Change Hydrologic Assessment, IJC Lake Ontario – St-Lawrence River Regulation Study*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum GLERL-126, 2003.
- Dai, A., K.E. Trenberth et T. Qian. « A Global Dataset of Palmer drought severity index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming », *Journal of Hydrometeorology*, vol. 5, 2004, pp. 1117-1130.
- Daigle, R., D. Forbes, L. Vasseur, S. Nichols, D. Bérubé, K. Thompson, H. Ritchie, A. Hanson, É Tremblay, G. Parkes, K. Murphy et T. Webster. « Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005, <[http://www.adaptation2005.ca/abstracts/daigle\\_f.html](http://www.adaptation2005.ca/abstracts/daigle_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Dajoz, R. *Précis d'écologie*, 7<sup>me</sup> édition, Dunod, Paris, 2000, 615 p.
- D'Arcy, J.-F. Bibeault et R. Raffa. *Changements climatiques et transport maritime sur le Saint-Laurent. Étude exploratoire d'options d'adaptation*, rapport rédigé pour le Comité de concertation navigation du Plan d'action Saint-Laurent 2005, 140 p., <[http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Final\\_Darcy.pdf](http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Final_Darcy.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Derocher, A.F., N.J. Lunn et I. Stirling. « Polar bear in a changing climate », *Integrative Comparative Biology*, vol. 44, 2004, pp. 163-176.
- Déry, S. et E.F. « Wood decreasing river discharge in northern Canada », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, 2005.
- Desgranges, J.-L., J. Ingram, B. Drolet, J. Morin, C. Savage et D. Borcard. « Modeling the bird response to water level changes in the Lake Ontario - St. Lawrence River hydrosystem », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 113, 2006, pp. 329-365.
- Diaconescu, R., P. Gachon et A. St-Hilaire. *Analyse de la variabilité des vents dans le Golfe du Saint Laurent: tendances climatique et de nature non-climatique*, Ouranos, rapport de recherche, 2007.
- Di Castri, F. et T. Younes (éd.). « Ecosystem function of Biological diversity », *Biology International* No 22, Special Issue, International Union of Biological Sciences, Paris, France, 1990.
- Di Castri, F. et T. Younes. « Biodiversity, the emergence of a new scientific field – Its perspectives and constraints », dans *Biodiversity, Science and Development, Towards a New Partnership*, F. Di Castri et T. Younes (éd.), International Union of Biological Sciences CAB International, Wallingford, Royaume-Uni, 1996, pp. 1-11.
- Dietrich, R.A. *Alaskan Wildlife Diseases*, Fairbanks, AK, Institute of Arctic Biology, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, 1981.
- Diffey, B. « Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin », *Physics in Medicine and Biology*, vol. 49, n° 1, 2004, pp. R1-11.
- Direction de la santé publique de la Montérégie. *Plan d'urgence spécifique : « mesures accablantes »*, édition 2004, Direction de la santé publique de la Montérégie, version préliminaire, 2004.
- Direction de la santé publique de Montréal. *Plan de mesures d'urgence : épisode de chaleur accablante 2004*, document-synthèse, Unité Santé au travail et environnementale, 2004.
- Direction de santé publique de Québec. *Mémoire déposé au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement sur le Projet de prolongement de l'axe du Vallon (ville de Québec)*, Direction de santé publique de Québec, 1er juin 2004, 29 p., <[http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/du\\_vallon/documents/DM65.pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/du_vallon/documents/DM65.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Direction de la santé publique. *Les souris sylvestres dans les chalets : un risque sérieux pour la santé*, Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux de la Mauricie et du Centre-du-Québec, 2005, <<http://www.agencesess04.qc.ca/communications/2005/com190501.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Dixsaut G. « Vague de chaleur et climatisation : revue bibliographique », *Bise*, vol. 16, n° 4, 2005, pp. 1-6.
- Dolan, A. H. et L.J. Walker. « Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks », dans *Proceedings of the 8th International Coastal Symposium*, Brésil, Journal of Coastal Research, no spécial 39, 2003, <<http://www.cip-icu.ca/English/aboutplan/nrcan/dolan.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Doré, G. et Y. Savard. « Vérification des méthodes de dimensionnement des chaussées au gel-dégel (coopération Québec-France) : suivi des comportements des planches d'essais après trois ans et cinq ans », dans *Répertoire des projets de recherche et développement*, Ministère des Transports du Québec, 2006.
- Dost, F.N. « Acute toxicology of components of vegetation smoke », *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 119, 1991, pp. 1-46.
- Doyon, B., D. Bélanger et P. Gosselin. *Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs*, Institut national de santé publique du Québec, 2006, 75 p., <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Drake, B.G., M.A. Gonzalez-Meler et S.P. Long. « More efficient plant: a consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>? », *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 48, 1997, pp. 609-639.
- Dubois, J. M.-M. *Dynamique de l'érosion littorale sur la Côte-Nord du Saint-Laurent*, comptes-rendus du Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin, Comité de la zone d'intervention prioritaire de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau (Québec), MRC de Manicouagan (éd.), 1999.
- Dubois, J.M., P. Bernatchez, J.-D. Bouchard, B. Daigneault, D. Cayer et S. Dugas. *Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte Nord du St-Laurent pour la période de 1996 à 2003*,

- Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, rapport présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006, 291 p., <[http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com\\_docman/task,cat\\_view/gid,33/itemid,77/](http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,33/itemid,77/)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ducas, S. « Conférence sur le plan d'urbanisme de la Ville de Montréal », dans *8<sup>e</sup> Journées annuelles de la santé publique*, 30 novembre 2004
- Duchesne, S., A. Mailhot et E. Levesque. « Impacts et adaptations liés aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec: évaluation de la performance historique des réseaux », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005.
- Duguay, C.R., T.D. Prowse, B.R. Bonsal, R.D. Brown, M.P. Lacroix et P. Ménard. « Recent trends in Canadian lake ice cover », *Hydrological Processes*, vol. 20, 2006, pp. 781-801.
- Edwards, M. et A. Richardson. « Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch », *Nature*, vol. 2808, 2004, 3 p.
- Enright, W. *Changement d'habitudes, changement climatique : analyse de base*, Institut canadien de la santé infantile, 2001, 129 p.
- Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2005, <<http://www.mdddep.gouv.qc.ca/eau/grandslacs/2005/Entente.pdf>>, [consultation May 2, 2007].
- Environnement Canada. *Normales climatiques au Canada (Québec) 1961-90*, Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, 1993.
- Environnement Canada. « Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat au Québec », dans *L'Étude pancanadienne: impacts et adaptation au climat*, Environnement Canada, volume 5, 1997.
- Environnement Canada. *Les dix principaux événements météorologiques canadiens de 2000*, Environnement Canada, 2002, <[http://www.msc.ec.gc.ca/media/top10/2000\\_f.html](http://www.msc.ec.gc.ca/media/top10/2000_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Environnement Canada. *Avertissements météo publics pour le Canada*, Environnement Canada, 2004a, <[http://www.weatheroffice.ec.gc.ca/warnings/warnings\\_f.html](http://www.weatheroffice.ec.gc.ca/warnings/warnings_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Environnement Canada. *Fiche d'information sur le Smog*, Environnement Canada, 2004b, <[http://www.msc.ec.gc.ca/cd/factsheets/smog/index\\_f.cfm](http://www.msc.ec.gc.ca/cd/factsheets/smog/index_f.cfm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Environnement Canada. *Palmarès météo Québec*, Environnement Canada, 2005, <<http://www.on.ec.gc.ca/weather/winners/weather-honours-f.html>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Environnement Canada. *Atlas des vents*, Environnement Canada, 2007a, <<http://www.atlasoleum.ca/fr/maps.php>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Environnement Canada. *Atlas des glaces*, Environnement Canada, 2007b, <<http://ice-glaces.ec.gc.ca/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Fagherazzi, L., R. Guay et T. Sassi. *Climate Change analysis of the Ottawa River System*, rapport remis à la Commission mixte internationale – Lake Ontario-St. Lawrence River study on discharge regulation, 2005, 72 p.
- Flanagan, K., E. McCauley, F. Wrona et T. Prowse. « Climate change: the potential for latitudinal effects on algal biomass in aquatic ecosystems », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 60, 2003, pp. 635-639.
- Flannigan, M., I. Campbell, M. Wotton, C. Carcaillat, P. Richard et Y. Bergeron. « Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and General Circulation Model - Regional climate model simulations », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, 2001, pp. 854-864.
- Flannigan, M., K. Logan, B. Amiro, W. Skinner et B. Stocks. « Future area burned in Canada », *Climatic Change*, vol. 72, n° 1-2, 2005, pp. 1-16.
- Forbes, D.L., J. Shaw et R.B. Taylor. « Impact et adaptation à la variabilité et au changement du climat à l'Atlantique », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, J. Abraham, T. Canavan et R. Shaw (éd.), Environnement Canada, vol. 6, 1997, pp. 51-66.
- 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, 2004, pp. 169-204.
- Forget, D. « Découvrir Ouranos : climat, les experts à l'œuvre », dans 75e congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences, *Découvrir*, vol. 28, n° 3, 2007, p. 36, <<http://www.acfas.ca/dcouvrir/v28-3som.html>>.
- Forget, E. et R. Drever. *Changements climatiques : impacts sur les forêts québécoises – Revue de littérature*, Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, 2003, 65 p.
- Fortier, R., et M. Allard. *Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik. Rapport d'étape 2, Conditions du pergélisol et mollisol*, comptes rendus des campagnes de terrain été 2002 et hiver 2003, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec (Québec), 2003a.
- Fortier, R. et M. Allard. *Les impacts d'un réchauffement récent sur le pergélisol au Nunavik*, présentation faite en décembre 2003 au 24e colloque annuel du Centre d'études nordiques, 2003b.
- Fortin, L.G., R. Turcotte, S. Pugin, J.F. Cyr et F. Picard. « Impact des changements climatiques sur les plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer au Sud du Québec », *Revue canadienne de génie civil*, vol. 34, n° 8, 2007, pp. 934-945.
- Frenette, J.-J., M. Arts et J. Morin. « Spectral gradient of downwelling light in a fluvial lake (Lake Saint-Pierre, St. Lawrence River) », *Aquatic Ecology*, vol. 37, 2003, pp. 77-85.
- Frenette, J.-J., M. Arts, J. Morin, D. Gratton et C. Martin. « Hydrodynamic control of the underwater light climate in fluvial Lac Saint-Pierre », *Limnology and Oceanography*, vol. 51, 2006, pp. 2632-2645.
- Frigon, M. *L'entretien du réseau routier québécois : une industrie comprenant plusieurs acteurs*, Magazine Circuit Industriel, juin 2003, <<http://www.magazinemci.com/articles/dossiers/2003/06/quebec7.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Furgal, C. et J. Seguin. « Climate Change Health Impacts, Vulnerabilities and the Capacity to Respond in Canadian Northern Aboriginal Communities », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005.
- Furgal, C.M., D. Martin, P. Gosselin et A. Viau. *Climate change and health in Nunavik and Labrador: what we know from science and Inuit knowledge*, Nunavik Regional Board of Health and Social Services/Nunavik Nutrition and Health Committee, Labrador Inuit Association, Labrador Inuit Health Commission, rapport scientifique final d'un projet subventionné par le Fonds d'action pour le changement climatique, 2002, 139 p.
- Gachon, P., A. St-Hilaire, T. Ouarda, V.T.V. Nguyen, C. Lin, J. Milton, D. Chaumont, J. Goldstein, M. Hessami, T.-D. Nguyen, F. Selva, M. Nadeau, P. Roy, D. Parishkura, N. Major, M. Choux et A. Bourque. *A first evaluation of the strength and weaknesses of statistical downscaling methods for simulating extremes over various regions of eastern Canada*, rapport final rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Ouranos, 2005, 234 p., <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/GACHON%20ET%20AL.%20CCAF-SVE17.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gagnon, R. *Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau-Chapais (Québec), vers un aménagement forestier durable*, Laboratoire d'écologie végétale, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi (Québec), 1998, 27 p.
- Gamache, I. et S. Payette. « Height growth response of tree line black spruce to recent climate warming across the forest-tundra of eastern Canada », *Journal of Ecology*, vol. 92, 2004, pp. 835-845.
- Gamache, I. et S. Payette. « Latitudinal response of subarctic tree lines to recent climate change in eastern Canada », *Journal of Biogeography*, vol. 32, 2005, pp. 849-862.
- Garneau, M., M.C. Breton, F. Guay, I. Fortier, M.F. Sottile et D. Chaumont. *Hausse des concentrations des particules organiques (pollens) causée par le changement climatique et ses conséquences sur les maladies respiratoires des populations vulnérables en milieu urbain*, Fonds d'action pour le changement climatique – sous-composante Impacts et Adaptation, Projet A571, 2006, 133 p. <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Garneau.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Génot, J.C. et R. Barbault. « Quelle politique de conservation? », dans *Biodiversité et changements globaux enjeux de société et défis pour la recherche*, R. Barbault et B. Chavassus-au-Louis, Association pour la diffusion de la pensée française, 2005, pp. 162-191.
- Gerardin, V., J.-P. Dubruc et P. Beauchesne. « Planification du réseau d'aires protégées du Québec : principes et méthodes de l'analyse écologique du territoire », Ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, *Vertigo*, vol. 3, n° 1, 2002, 10 p.
- Gielen, B. et R. Ceulemans. « The likely impact of rising atmospheric CO<sub>2</sub> on natural and managed *Populus*: a literature review », *Environmental Pollution*, vol. 115, 2001, pp. 335-358.
- Giguère, M. et P. Gosselin. *Impacts des événements climatiques extrêmes sur la santé : examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006a, 27 p., <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Giguère, M. et P. Gosselin. *Les impacts du changement climatique sur l'émergence et l'intensification des maladies zootropiques et des maladies à transmission vectorielle au Québec : examen des initiatives d'adaptation actuelles*, Institut national de santé publique du Québec, 2006b, 27 p., <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Giguère, M. et P. Gosselin. *Les impacts du changement climatique sur les ressources hydriques et ses conséquences sur la santé, examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006c, <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Giguère, M. et P. Gosselin. *Les impacts du changement climatique sur les vagues de chaleur et de l'effet d'ilot thermique urbain sur la santé : examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006d, <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Giguère, S., J. Morin, P. Laporte et M. Mingelbier. « Évaluation des impacts des fluctuations hydrologiques sur les espèces en péril, tronçon fluvial du Saint-Laurent (Cornwall à Trois-Rivières) », dans *Étude internationale sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent*, rapport final rédigé pour la Commission mixte internationale, Environnement Canada, Service canadien de la faune et Service météorologique du Canada et Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 2005, 71 p.
- Gillet, N.P., F.W. Zwiers, A.J. Weaver et P.A. Stott. « Detection of human influence on sea-level pressure », *Nature*, vol. 422, 2003, pp. 292-294.
- Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow. « Ecosystems and their goods and services », 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, New York, New York, 2001, pp. 735-800, <<http://www.GIEC.ch/pub/reports.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].

- Godbout, L., P. Fortin, M. Arseneau et S. St-Cerny. *Oser choisir maintenant. Des pistes de solutions pour protéger les services publics et assurer l'équité entre les générations*, Presses universitaires Laval, Québec (Québec), 2007, 150 p.
- Goldblum, D. L.S. Rigg. « Tree growth response to climate change at the deciduous–boreal forest ecotone, Ontario, Canada », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 11, 2005, pp. 2709–2718.
- Gosselin P. *Développement d'un outil Web interactif pour mieux comprendre les impacts des changements climatiques sur la santé publique*, Projet GEOÏDE Initiative stratégique, 2005, <[http://www.geoide.ulaval.ca/files/41\\_F.jpg](http://www.geoide.ulaval.ca/files/41_F.jpg)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gosselin, P. *Surveillance and Management of Climate Change Impacts in the North: Implications for Northern Public Health Policy and Infrastructure*, ArcticNet, 2006, <[http://www.arcticnet-ulaval.ca/index.php?fa=ResearchHome.showThemeProjects&theme=14&project\\_id=24](http://www.arcticnet-ulaval.ca/index.php?fa=ResearchHome.showThemeProjects&theme=14&project_id=24)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gosselin P., G. Lebel, S. Rivest et M. Douville-Fradet. « The Integrated System for Public Health Monitoring of West Nile Virus (ISPHM-WNV): a Real-time GIS for Surveillance and Decision-Making », *International Journal of Health Geographics*, 2005, <<http://www.jj-healthgeographics.com/content/4/1/21>>.
- Goulet, L., C. Christin et É. Hudon. *Prévalence et gravité des symptômes d'allergie respiratoire chez les résidants de l'Île de Montréal*, Direction de la santé publique de Montréal-Centre, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, 1996, 20 p.
- Gouvernement du Québec. « L'eau, la vie, l'avenir », dans *Politique nationale de l'eau*, Gouvernement du Québec, 2002, <<http://www.mdddep.gouv.qc.ca/eau/politique/politique-integral.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gouvernement du Québec. *Cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles. Guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et d'application du cadre normatif – Saguenay-Lac-Saint-Jean*, Gouvernement du Québec, 2005, <[http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/publications/glissem ents\\_terrain/glissem ents\\_terra in\\_2.pdf](http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/publications/glissem ents_terrain/glissem ents_terra in_2.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gouvernement du Québec. *Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir, Plan d'actions 2006–2012*, Gouvernement du Québec, 2006a, <[http://www.mdddep.gouv.qc.ca/changements/plan\\_action/2006-2012\\_fr.pdf](http://www.mdddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/2006-2012_fr.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gouvernement du Québec. *Politique québécoise du transport collectif*, Gouvernement du Québec, 2006b, <[http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/modes/personnes/polit\\_collectif2006.asp](http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/modes/personnes/polit_collectif2006.asp)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Gouvernement du Québec. *Cadre de prévention des risques naturels*, Gouvernement du Québec, 2006c, <<http://www.mdddep.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=1029>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Groisman, P.Y., B. Sun, R.S. Vose, J.H. Lawrimore, P.H. Whitfield, E. Forland, L. Hanssen-Bauer, M.C. Serreze, V.N. Razuvavaev et G.V. Alekseev. *Contemporary climate changes in high latitudes of the northern hemisphere: daily time resolution, 83<sup>rd</sup> rencontre annuelle de la American Meteorology Society à Long Beach, Californie*, 2003.
- Grondin, G. et A. Guimond. « Impact du dégel du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier du ministère des Transports du Québec au Nunavik », *Route-Roads*, vol. 326, pp. 42–49, 2005.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, pp. 1–20.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, 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), 2001b, 1032 p.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Les changements climatiques et la biodiversité*, Document technique V du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson et D.J. Dokken (éd.), Genève, Suisse, 2002, 75p.
- 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, 2007, 18 p.
- Guillemette, F., A.P. Plamondon et D. Lesvesques. *Effets de la coupe sur le bilan hydrologique, Bassin expérimental du ruisseau des Eaux-Volées (BEREV)*, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec (Québec), 1999.
- Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R.S. Ostfeld et M.D. Samuel. « Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota », *Science*, vol. 296, 2002, pp. 2158–2162.
- Hatfield, J. L. et J.H. Prueger. « Impacts of changing precipitation patterns on water quality », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 59, n° 1, 2004.
- Hauer, F.R., J.S. Baron, D.H. Campbell, K.D. Fausch, S.W. Hostettler, G.H. Leavesley, P.R. Leavitt, D.M. McKnight et J.A. Stanford. « Assessment of climate change and freshwater ecosystems of the Rocky Mountains, USA and Canada », *Hydrological Processes*, vol. 11, n° 8, 1997, pp. 903–924.
- Hersteinsson, P. et D.W. MacDonald. « Interspecific competition and the geographical distribution of red and arctic foxes *Vulpes vulpes* and *Alopex lagopus* », *Oikos*, vol. 64, 1992, pp. 505–515.
- Hesslein, R. H., M.A. Turner, S.E.M. Kasian et D. Guss. *The potential for climate change to interact with the recovery of Boreal lakes from acidification – a preliminary investigation using ELAs database*, rapport préparé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, 2001.
- Higuchi, K., C.W. Yuen et A. Shabbar. « Ice Storm '98 in Southcentral Canada and northeastern United States: A climatological perspective », *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 66, n° 1-2, 2000, pp. 61–79.
- Hill, D., V. White, R. Marks, T. Theobald, R. Borland et C. Roy. « Melanoma prevention: behavioral and nonbehavioral factors in sunburn among an Australian urban population », *Preventive Medicine*, vol. 21, n° 5, 1992, pp. 654–69.
- Hooper, M.C., K. Arii et M.J. Lechowicz. « Impact of a major ice storm on an old-growth hardwood forest », *Revue canadienne de botanique*, vol. 79, n° 1, 2001, pp. 70–75.
- House, J. et V. Brovkin. « Climate and air quality », dans *Ecosystems and Human Well-being: Current states and Trends, Volume 1*, R. Hassan, H. Scholes et N. Ash (éd.), Island Press, 2005, pp. 355–390, <<http://www.millenniumassessment.org/en/Products.Global.Condition.aspx>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Hudon, C. *Le lac St-Louis est-il à risque? Les niveaux d'eau et l'eau potable*, Environnement Canada, 2004, <[http://www.ec.gc.ca/csl/inf/inf040\\_f.html](http://www.ec.gc.ca/csl/inf/inf040_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Hudon, C., P. Gagnon, J.-P. Amyot, G. Létourneau, M. Jean, C. Plante, D. Rioux et M. Deschênes. « Historical changes in herbaceous wetland distribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada) », *Hydrobiologia*, vol. 539, 2005, pp. 205–224.
- Huggins K., J.-J. Frenette et M.T. Arts. « Nutritional quality of biofilms with respect to light regime in Lake Saint-Pierre (Québec, Canada) », *Freshwater Biology*, vol. 49, 2004, pp. 945–959.
- Hydro-Québec. *Plan stratégique 2006–2010*, Hydro-Québec, 2006, <[http://www.hydroquebec.com/publications/fr/plan\\_strategique/2006-2010/pdf/complet.pdf](http://www.hydroquebec.com/publications/fr/plan_strategique/2006-2010/pdf/complet.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Infrastructure Canada. *L'évaluation des besoins en infrastructure du Canada: une analyse d'études clés*, Infrastructure Canada, 2004, 14 p.
- Infrastructure Canada. *L'adaptation des infrastructures du Canada aux changements climatiques dans les villes et les collectivités; une analyse documentaire*, Infrastructure Canada, 2006, <[http://www.infrastructure.gc.ca/recherche-recherche/result/studies-rapports/rs14\\_f.shtml](http://www.infrastructure.gc.ca/recherche-recherche/result/studies-rapports/rs14_f.shtml)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut canadien des ingénieurs. *Conférence sur les changements climatiques 2006*, Institut canadien des ingénieurs, 2006, <<http://www.ccc2006.ca/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut de la statistique du Québec. *Le portrait de santé : le Québec et ses régions. Perspectives démographiques du Québec 1996–2041, régions administratives, régions métropolitaines et municipalités régionales de comté*, édition 2000, Institut de la statistique du Québec, 2000, <<http://ivt.crepuq.qc.ca/isq/francais/pdq/2000/#ra>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut de la statistique du Québec. *Perspectives démographiques, Québec et régions, 2001–2051, édition 2003*, Institut de la statistique du Québec, 2003, <[http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/persp\\_popl/pers2001-2051/index.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/persp_popl/pers2001-2051/index.htm)>, [consultation : 3 mai 2007].
- Institut de la statistique du Québec. *Données démographiques régionales*, Institut de la statistique du Québec, 2004, <[http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/dons\\_regnl/regional/index.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/dons_regnl/regional/index.htm)>.
- Institut de prévention des sinistres catastrophiques. *Tempêtes hivernales*, Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2005, <<http://www.iclr.org/french/hazards/tempete.htm>>, [consultation : 25 mars 2005].
- Institut de recherche forestière de l'Ontario. *A Synopsis of Known and Potential Diseases and Parasites Associated with Climate Change*, Forest Research Information Paper no. 154, Institut de recherche forestière de l'Ontario, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2003, 185 p.
- Institut national de recherche sur les eaux. *Threats to Water Availability in Canada*, atelier de l'Institut national de recherche sur les eaux organisé en 2002 à Victoria (Colombie-Britannique), 2004.
- Institut national de santé publique du Québec. *Les pneus hors d'usage et le risque de transmission de maladies infectieuses par les moustiques (résumé)*, Institut national de santé publique du Québec, 2003a, <<http://www.inspq.qc.ca/publications/ environnement/doc/text7.asp?E=p/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut national de santé publique du Québec. *Virus du Nil Occidental : évaluation des attitudes, des comportements et des connaissances populaires*, Institut national de santé publique du Québec, 2003b, <<http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/403-PlanGlobalInterventionVNO.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut national de santé publique du Québec. *Mesures individuelles et collectives pour prévenir la transmission du virus du Nil occidental - Éléments pour un plan global d'intervention*, Institut national de santé publique du Québec, 2005a, <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=&NumPublication=403/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut national de santé publique du Québec. *Épidémiologie et effets de l'infection par le virus du Nil occidental sur la santé humaine - Mise à jour 2004*, Institut national de santé publique du Québec, 2005b, <<http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?Titre=&NumPublication=&Theme=34&Auteur=&ISBN=&Année=0&Type=0&Direction=0&Unite=0&E=p/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut national de santé publique du Québec. *Portrait de santé du Québec et de ses régions 2006. Les analyses*, Institut national de santé publique du Québec, 2006, 131 p., <[http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/portrait\\_de\\_sante.asp?E=p](http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/portrait_de_sante.asp?E=p)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Institut national du cancer du Canada. *Statistiques canadiennes sur le cancer 2005*, Société canadienne du cancer et Institut national du cancer du Canada, Toronto (Ontario), 2005.

- Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. *Changements climatiques : impacts sur les forêts québécoises*, Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Revue de littérature, 2003, 48 p.
- Jackson, D.A. et N.E. Mandrak. « Changing fish biodiversity: predicting the loss of cyprinid biodiversity due to global climate change », dans *Fisheries in a Changing Climate*, N.A. McGinn (éd.), American Fisheries Society, 2002, 319 p.
- Jasinski, J.P. et S. Payette. « The creation of alternative stable states in the southern boreal forest, Quebec, Canada », *Ecological Monographs*, vol. 75, n° 4, 2005, pp. 561-583.
- Jean, M., G. Létourneau, C. Lavoie et F. Delisle. « Les milieux humides et les plantes exotiques en eau douce », fiche d'information dans *Suivi de l'état du Saint-Laurent*, Environnement Canada — Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent et Centre de recherche en aménagement et développement de l'Université Laval, 2002, 8 p.
- Johnston, M. et T. Williamson. « Climate change implications for stand yields and soil expectation values: A northern Saskatchewan case study », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 683-690.
- Jones, B. et D. Scott. Climate Change, Seasonality and Visitation to Canada's National Parks. *Journal of Parks and Recreation Administration*, vol. 23, n° 4, 2005.
- Jones, J., P.J. Doran et R.T. Holmes. « Climate and food synchronize regional forest birds' abundance », *Ecology*, vol. 84, n° 11, 2003, pp. 3024-3032.
- Kalkstein, L. et J. Green. « An evaluation of Climate/Mortality Relationship in Large U.S. Cities and the Possible Impacts of a Climate Change », *Environmental Health Perspectives*, vol. 105, 1997, pp. 84-93.
- Keatinge W.R., G.C. Donaldson, E. Cordioli, M. Martinelli, A.E. Kunst, J.P. Mackenbach, S. Nayha et I. Vuori. « Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study », *British Medical Journal*, vol. 321, n° 7262, 2000, pp. 670-673.
- Kennedy, V.S., R.R. Twilley, J.A. Kleypas, J.H. Cowan, Jr et S.R. Hare. *Coastal and marine ecosystems and global climate change: potential effects on U.S. resources*, rapport rédigé pour le Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2002, 52 p.
- King, N., P. Morency et L. Lapierre. « Les impacts du transport sur la santé publique », dans *Rapport synthèse : faits saillants des principaux travaux de la Direction*, Direction de santé publique de Montréal, vol. 8, n° 3, 2005, <<http://www.santepub-mtl.qc.ca/Publication/synthese/rapv8n3.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Kirschbaum, M.U.F. « Forest growth and species distribution in a changing climate », *Tree Physiology*, vol. 20, 2000, pp. 309-322.
- Klein, R.J., T. Nicholls, R.S. Ragoonaden, M. Capobianco, J. Aston et E.N. Buckley. « Technological options for adaptation to climate change in coastal zones », *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 3, 2001, pp. 531-543.
- Klinenberg, E. *A social autopsy of disaster in Chicago: heat wave*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 2002, 305 p.
- Kling, G. W., K. Hayhoe, L.B. Johnson, J.J. Magnuson, S. Polasky, S.K. Robinson, B.J. Shuter, M.M. Wander, D.J. Wuebbles et D.R. Zak. Confronting climate change in the Great Lakes Region, impacts on our communities and ecosystems; The Union of Concerned Scientists and The Ecological Society of America, 2003, 104 p.
- Kosatsky, T., Y. Baudoin et J. Milton. *Identification des secteurs vulnérables à la chaleur intense dans une métropole canadienne en vue d'interventions et d'études ciblées en santé publique*, Projet Ouranos, 2005a, <[http://www.ouranos.ca/programmation/ilot\\_chaleur\\_f.html](http://www.ouranos.ca/programmation/ilot_chaleur_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Kosatsky, T., N. King et B. Henry. *How Toronto and Montreal respond to heat*, Extreme Weather Events and Public Health Responses, 2005b, pp. 167-171.
- La Financière agricole du Québec. *Statistiques annuelles, Assurance récolte*, La Financière agricole du Québec, 2006, <<http://www.fadq.qc.ca/index.php?id=826>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Lafortune, V., C. Furgal, E. Angiyou, T. Annanack, N. Einish, B. Etiddloie, P. Tookalook et J.-P. Savard. « Adapting to Climate Change in Nunavik and Northern Québec: Using Traditional and Scientific Knowledge to Enhance Local Capacity and Cope With Changing Ice Conditions », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et patronnée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005.
- Lafrance, G. et C. Desjarlais. *Impact socio-économique du changement climatique sur la demande d'énergie*, rapport de recherche, Ouranos, 2006, 79 p., <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Lafrance.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Lambert, S. « Changes in winter cyclone frequencies and strengths in transient enhanced greenhouse warming simulations using two coupled climate models », *Atmosphere-Ocean*, vol. 42, n° 3, 2004, pp. 173-181.
- Laplante, D.P., R.G. Barr, A. Brunet, G. Galbaud du Fort, M.L. Meaney, J.F. Saucier, P.R. Zelazo et S. King. « Stress during pregnancy affects general intellectual and language functioning in human toddlers », *Pediatric Research*, vol. 56, n° 3, 2004, pp. 400-410.
- Lauzon, V. et A. Bourque. *L'impact des changements climatiques sur le cycle de l'eau et ses usagers dans le bassin versant de la Châteauguay*, affiche au Symposium Ouranos, 2004, <[http://www.ouranos.ca/symposium/resume\\_PDF/lauzon.pdf](http://www.ouranos.ca/symposium/resume_PDF/lauzon.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Lawrence, D.M. et A.G. Slater. « A projection of severe near surface permafrost degradation during the 21st Century », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, n° 17, 2005.
- Lebuis, J., J.-M. Robert et P. Rissmann. *Regional Mapping of landslide hazard in Quebec. Symposium on slopes on soft clays*, Institut géotechnique de Suède, Linköping, Suède, Rapport no 17, 1983.
- Leclerc, M., P. Boudreau, N. Roy, Y. Secretan, S. El Adlouni, T. Ouarda, D. Chaumont, I. Falardeau et F. Morneau. *Contribution à la recherche d'une solution intégrée au risque d'inondation à Châteauguay*, rapport commandé par la Ville de Châteauguay, en collaboration avec le ministère de la Sécurité publique du Québec, Rapport de recherche #R841, 2006, 280 p.
- Lefavire, D. *Effet des changements climatiques sur les niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec. Projections pour les années 2050*, rapport préparé pour le Comité de concertation Navigation Plan d'Action Saint-Laurent Phase 4, Institut Maurice-Lamontagne, Direction des Sciences océaniques, 2005, 34 p.
- Lehoux, D., D. Dauphin, P. Laporte, J. Morin et O. Champoux. *Recommendation of water plans and final management criteria less detrimental to breeding and migrating waterfowl along the St. Lawrence River within the Lake St. Louis and the Lake St. Pierre area*, rapport final remis à Environnement Canada, 2005, 22 p.
- Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Impacts and adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 190 p. <[http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/index\\_f.php](http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/index_f.php)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Le Québec géographique. *Site Internet*, Le Québec géographique, 2006, <<http://www.quebecgeographique.gouv.qc.ca/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Logan, J.A., J. Régnière et J.A. Powell. « Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 1, n° 3, 2003, pp. 130-137.
- Luckman, B. et T. Kavanagh. « Impact of climate fluctuations on mountain environments in the Canadian Rockies ». *Ambio*, vol. 29, n° 7, 2000, pp. 371-380.
- Madramootoo, C.A., T.G. Helwing et G.T. Dodds. « Managing water tables to improve drainage water quality in Quebec, Canada », *Transactions of the American Society Agricultural Engineers*, vol. 44, n° 6, 2001, pp. 1511-1519.
- Mailhot, A. et S. Duchesne. « Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain », dans *L'eau dans les Amériques: enjeu de confrontation, de coopération ou de solidarité ?*, colloque tenu les 14 et 15 octobre 2004 à l'Université Laval, Québec (Québec), *Vertigo*, numéro spécial, 2005, <<http://www.vertigo.uquam.ca>>.
- Mailhot, A., A.N. Rousseau, B. Lacroix-Vachon, E. Nantel et J.-P. Villeneuve. « Approvisionnement en eau au Québec : cartographie des sites et estimation des volumes d'eau de surface prélevés alimentant les réseaux d'aqueduc municipaux », dans *Eau et changement climatique: comprendre pour mieux s'adapter*, 57<sup>e</sup> Congrès annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques tenu du 16 au 18 juin 2004 à Montréal (Québec), 2004.
- Mailhot, A., G. Rivard, S. Duchesne et J.-P. Villeneuve. *Impacts et adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec*, Institut national de recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, 2007, 144 p., <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Mailhot.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Mareuil, A. *Impact des changements climatiques sur les crues extrêmes des rivières: cas de la rivière Châteauguay*, mémoire de maîtrise, École de technologie supérieure, Montréal (Québec), 2005, 125 p.
- Martin, C., J.-J. Frenette et J. Morin. « Changes in the spectral and chemical properties of a water mass passing through extensive macrophyte beds in a large fluvial lake (Lake Saint-Pierre, Québec, Canada) », *Aquatic Sciences*, vol. 67, 2005a, pp. 196-209.
- Martin, D., D. Bélanger, P. Gosselin, J. Brazeau, C. Furgal et S. Déry. *Les changements climatiques, l'eau potable et la santé humaine au Nunavik : stratégies d'adaptation*, rapport préparé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Projet A563, 2005b, 80 p.
- Martin, D., B. Lévesque, J.S. Maguire, A. Maheux, C. Furgal, J.L. Bernier et E. Dewailly. *Drinking water quality in Nunavik: Health impacts in a climate change context*, rapport final du projet subventionné par ArcticNet et ACADRE (Nasivvik), 2005c, 87 p.
- McCabe G.J., M.P. Clark et M.C. Serreze. « Trends in northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity », *American Meteorological Society*, vol. 14, n° 12, 2001, pp. 2763-2768.
- McCarty, J.P. « Ecological consequences of recent climate change », *Conservation Biology*, vol. 15, v 2, 2001, pp. 320-331.
- McCulloch, M.M., D.L. Forbes et R.W. Shaw. *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, Fonds d'action pour le changement climatique, Projet A041, 2002.
- McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalan, K.L. Ebi, A. Githeko, J.D. Scheraga et A. Woodward. *Climate change and human health: Risk and responses*, Organisation mondiale de la santé, Organisation météorologique mondiale et Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève, Suisse, 2003, 322 p.
- Menzel, A. et P. Fabian. « Growing season extended in Europe », *Nature*, vol. 397, 1999, p. 659.
- Milewska, E. J. « Baseline Cloudiness Trends in Canada 1953-2002 », *Atmosphere- Ocean*, vol. 42, n° 4, 2004, pp. 267-280.
- Milton, J. et A. Bourque. *Compte-rendu de la tempête de verglas de janvier 1998 au Québec*, Division des sciences atmosphériques et enjeux environnementaux, Environnement Canada, région du Québec, 1998, 87 p.
- Mingelbier, M., P. Brodeur et J. Morin. « Impacts de la régularisation du débit des Grands Lacs et des changements climatiques sur l'habitat des poissons du fleuve Saint-Laurent », *Vecteur Environnement*, vol. 37, n° 6, 2004, pp. 34-43.
- Mingelbier, M., P. Brodeur et J. Morin. *Recommendations concernant les poissons et leurs habitats dans le Saint-Laurent fluvial et évaluation des critères de régularisation du système lac Ontario - Saint-Laurent*, rapport remis à la Commission mixte internationale et le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 2005, 141 p.
- Mingelbier, M., G. Trencia, R. Dumas, B. Dumas, Y. Mailhot, C. Bouchard, D.C. Manolesco, P. Brodeur, C. Hudon et G. Ouellette. *Avis scientifique concernant la mortalité massive des carpes dans le Saint-Laurent durant l'été 2001*, Société de la faune et des parcs du Québec, Ministère de l'Environnement du Québec, Biodôme de Montréal, Environnement Canada, 2001, 22 p.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. *Surveillance de la santé animale*, Ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2006, <<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/santeanimale/surveillance/>>, [consultation : 2 mai 2007].

- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Institut national de santé publique du Québec. *Enquête sur la Santé au Nunavik (2004)*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Institut national de santé publique, 2004, <<http://qanuippitaa.com/fr/what.aspx>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Chaleur accablante et rayons UV. Liste des initiatives, guides et plans*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006a, <[http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur\\_accablante\\_rayons\\_uv](http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur_accablante_rayons_uv)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Smog*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006b, <<http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?smog>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Chaleur accablante*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006c, <[http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur\\_accablante\\_rayons\\_uv](http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur_accablante_rayons_uv)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Rapport de la commission Nicolet sur le déluge du Saguenay*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996, <<http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/se civile.asp?txtSection=publications&txtCategorie=saguenay>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Rapport de la commission Nicolet sur la tempête de verglas de janvier 1998*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999, <[http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/se civile\\_en.asp?txtSection=publications&txtCategorie=verglas&txtSousCategorie=nicolet](http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/se civile_en.asp?txtSection=publications&txtCategorie=verglas&txtSousCategorie=nicolet)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Au service de votre sécurité*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2003a, <[http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/soutcito/asvs\\_fr\\_mrci.pdf](http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/soutcito/asvs_fr_mrci.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Programmes actuels d'assistance financière aux sinistrés*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2003b, <<http://www.msp.gouv.qc.ca/se civile/se civile.asp?txtSection=afs&txtCategorie=progactuel>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Finances du Québec. *Impacts des changements démographiques sur l'économie, le marché du travail et les finances du Québec*, Ministère des Finances du Québec, Document de recherche, 2005, <[http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/Impacts\\_demographiques2005.pdf](http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/Impacts_demographiques2005.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *L'énergie au Québec*, édition 2004, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2004, <<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/energie-au-quebec-2004.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *Gros plan sur l'énergie : électricité*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006a, <<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/energie-portrait-electricite.jsp>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *Ressources et industrie forestière, portrait statistique, édition 2005-2006*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006b, <<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *Stratégie énergétique : l'énergie pour construire le Québec de demain*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006c, <<http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/strategie/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Transports du Québec. *Gestion des risques de glissements de terrain liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay-Lac-St-Jean, bilan de la collaboration du Service de la géotechnique et de la géologie*, Direction du Laboratoire des chaussées, Ministère des Transports du Québec, 2000, <<http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/reseau/structures/deluge.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Transports du Québec. *Mandat d'initiative sur l'impact du réchauffement climatique dans le Nord-du-Québec*, mémoire à la Commission parlementaire sur les transports et l'environnement, Ministère des Transports du Québec, 2006a.
- Ministère des Transports du Québec. *Les chaussées et le climat québécois*, Ministère des Transports du Québec, 2006b, <<http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/reseau/chaussees/chaussees.asp>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère des Transports du Québec. *Les chaussées au Québec – Un contexte particulier*, Ministère des Transports du Québec, Fiche, 2006c, <[http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/reseau/chaussees/chaussees\\_quebec/1\\_contexte\\_particulier.pdf](http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/reseau/chaussees/chaussees_quebec/1_contexte_particulier.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *L'eau, la vie, l'avenir - Politique nationale de l'eau*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2002, 94 p., <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/ea/politique/index.htm>>, [consultation : mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Étude sur la qualité de l'eau potable dans sept bassins versants en surplus de fumier et impacts potentiels sur la santé*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004a, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/ea/bassinversant/sept-bassins/index.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Stratégie québécoise sur la diversité biologique 2004-2007*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004b, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/2004-2007/strategie.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Fleurs d'eau de cyanobactéries*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005a, <[http://www.menv.gouv.qc.ca/ea/eco\\_aqua/cyanobacteries/](http://www.menv.gouv.qc.ca/ea/eco_aqua/cyanobacteries/)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Publication de Règlement modifiant le Règlement sur la qualité de l'eau potable*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005b, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/ea/potable/brochure/rqep.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir - Plan d'action 2006-2012*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006a, <[http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan\\_action/2006-2012\\_fr.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/2006-2012_fr.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Loi sur le développement durable L.R.Q. chapitre D-8.1.1*, Éditeur officiel du Québec, 2006b, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca/developpement/loi.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Monette S., A.D. Dallaire, M. Mingelbier, D. Groman, C. Uhland, J.-P. Richard, G. Paillard, L.M. Johannson, D.P. Chivers, H.W. Ferguson, F.A. Leighton et E. Simko. « Massive mortality of common carp (*Cyprinus carpio carpio*) in the St. Lawrence River in 2001: diagnostic investigation and experimental reproduction of a lymphocytic encephalitis », *Veterinary Pathology*, vol. 43, 2006, pp. 302-310.
- Morin, J., O. Champoux, S. Martin et K. Turgeon. *Modélisation intégrée de la réponse de l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RS-108, Environnement Canada, 2005, 139 p.
- Morin, J., O. Champoux, S. Martin et K. Turgeon. *Modélisation intégrée de la réponse de l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RS-108, Environnement Canada, 2005, 139 p.
- Morin, J., O. Champoux, S. Martin et K. Turgeon. *Modélisation intégrée de la réponse de l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RS-108, Environnement Canada, 2005, 139 p.
- Morneau, F., M. Michaud, F. Lecours, L. Côté et D. Roy. *Étude d'impact sur l'environnement : projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne*, Ministère des Transports du Québec, 2001, 84 p. et annexes.
- Mörner, N.-A. « Estimating future sea level changes from past records », *Global and Planetary Change*, vol. 40, n° 1-2, 2003, pp. 49-54.
- Mortsch, L., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F.H. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes St. Lawrence system », *Revue canadienne des ressources hydrauliques*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 153-179.
- Musy, A. *A multidisciplinary approach to facilitate adaptation to climate change : the Ouranos model*, présentation Ouranos à la 12<sup>e</sup> séance de la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques tenue le 17 novembre 2006 à Nairobi, Kenya, 2006, <[http://www.ouranos.ca/doc/COP12/cop12\\_musy\\_final.pdf](http://www.ouranos.ca/doc/COP12/cop12_musy_final.pdf)>, [consultation : mai 2007].
- Nantel, E., A. Mailhot, A.N. Rousseau et J.-P. Villeneuve. « A methodology to assess historical and current municipal water supply vulnerabilities: an application to Quebec municipalities », dans *Computing and Control for the Water Industry*, 8<sup>e</sup> conférence Internationale tenue du 5 au 7 septembre 2005 à l'Université d'Exeter, Exeter, Royaume-Uni, vol. 2, 2005, 185 p.
- National Institute of Coastal and Marine Management of the Netherlands. *A guide to coastal erosion management practices in Europe*, Directorate General Environment - European Commission, 2004, 177 p., <[http://www.euroSION.org/shoreline/lessons\\_learned.pdf](http://www.euroSION.org/shoreline/lessons_learned.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Nearing, M.A., F.E. Pruski et M.R. Neal. « Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 59, n° 1, 2004, pp. 43-50.
- Nemanic, R.R., C.D. Keeling, H. Hashimoto, W.M. Jolly, C.C. Piper, C.J. Tucker, R.B. Myneni et S.W. Running. « Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 », *Science*, vol. 300, n° 5625, 2003, pp. 1560-1563.
- Neumann, J.E., G. Yohe, R.J. Nicholls et M. Manion. *Sea level rise and global climate change: a review of impacts to US coasts*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2000, 43 p., <<http://www.pewclimate.org/docUploads/env%5FseaLevel%2Epdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Nickels, S., C. Furgal, M. Buell et H. Moquin. *Unikkaaqatigiit – Putting the Human Face on Climate Change: Perspectives from Inuit in Canada*, publication conjointe de l'Inuit Tapiriit Kanatami, Nasivik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et le Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, 2005.
- Nituuchichayihtaa Aschii. *Multi-Community Environment-and-Health Longitudinal Study in Iiyiuu Aschii. Mistissini 2005*, rapport préliminaire inédit du Centre de recherche du CHUQ, 2005.
- Oke, T.R. « The energetic basis of urban heat island », *Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, n° 455, 1982, pp. 1-24.
- Ordre des ingénieurs du Québec. *Code de déontologie des ingénieurs*, Ordre des ingénieurs du Québec, 2006, <[http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/charge.php?type=3&file=/I\\_9/I9R3.HTM](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/charge.php?type=3&file=/I_9/I9R3.HTM)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Organisation de patrouilles de la société de protection des forêts contre le feu. *Société de protection des forêts contre le feu : statistiques 2006*, Organisation de patrouilles de la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU), 2006, <<http://www.sopfeu.qc.ca>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Organisation mondiale de la santé. *Climate change and human health: risks and responses*, Organisation mondiale de la santé, 2003, <<http://www.who.int/globalchange/publications/cchhsummary/en/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Organisation mondiale de la santé. *Climat et santé*, Organisation mondiale de la santé, 2005, <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/fr/>>, [consultation : 2 mai 2007].

- Ouellet, V., O. Champoux et J. Morin. *Modèle d'impacts des fluctuations de niveau d'eau sur la survie hivernale du rat musqué : rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, rapport technique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RT-139, Environnement Canada, préparé pour le Groupe de travail technique sur l'environnement du Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent de la Commission mixte internationale, 2005, 75 p.
- Ouranos. *S'adapter aux changements climatiques*, Ouranos, Montréal (Québec), 2004, 91 p., <[http://www.ouranos.ca/doc/produit\\_f.html](http://www.ouranos.ca/doc/produit_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ouranos. *Programmation scientifique*, Ouranos, Montréal (Québec), 2006, <[http://www.ouranos.ca/programmation/prog\\_f.html](http://www.ouranos.ca/programmation/prog_f.html)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Ouranos. *Site Internet*, Ouranos, Montréal (Québec), 2007, <<http://www.ouranos.ca>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Owens, S., P. Gosselin, C. Furgal, J.-F. Proulx et L. Château-Degat. *Nunavik's public health surveillance in response to a changing climate: a baseline study*, ArcticNet et Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ), 2006, 113 p.
- Parlee, K. *Réduire la vulnérabilité des promenades et sentiers côtiers à l'érosion, aux ondes de tempêtes, aux inondations et aux glaces de mer*, comptes rendus de l'atelier du Secteur zones côtières et Région Atlantique du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) tenu le 7 mai 2004 à Halifax (Nouvelle-Écosse), 2004, <[http://c-ciarn.bio.ns.ca/documents/CZReport04-3\\_f.pdf](http://c-ciarn.bio.ns.ca/documents/CZReport04-3_f.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Payette, S. « Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada: the catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, 1999, pp. 288-305.
- Payette, S. et L. Rochefort (éd.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Les Presses de l'Université Laval, Québec (Québec), 2001, 621 p.
- Payette, S., M.J. Fortin et I. Gamache. « The sub-arctic forest-tundra: the structure of a biome under changing climate », *Bioscience*, vol. 51, n° 9, 2001, pp. 709-718, <<http://www.zoo.utoronto.ca/fortin/Payette2001.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Payette, S., A. Delwaide, M. Caccianiga et M. Beauchemin. « Accelerated thawing of subarctic peatland permafrost over the last 50 years », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, L18208, 2004.
- Pexioto, J. P. et A.H. Oort. *Physics of Climate*, American Institute of Physics, 1992, 520 p.
- Peterson, A.T. et R. Schachter-Pereira. « Potential Geographic Distribution of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in North America », *The American Midland Naturalist*, vol. 151, n° 1, 2004, pp. 170-178.
- 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.
- Price, D.T. et D. Scott. *Large scale modeling of Canada's forest ecosystem responses to climate change*, rapport final remis en juin 2006 au Gouvernement du Canada dans le cadre du Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006.
- Prowse, T.D. et S. Betaoas. « Climatic control of river-ice hydrology: a review », *Hydrological Processes*, vol. 16, 2002, pp. 805-822.
- Pugin, S., J.F. Cyr, L.G. Fortin et R. Turcotte. *Une approche par bassin versant pour évaluer l'impact des changements climatiques et la capacité d'adaptation - Développements méthodologiques pour un bassin agricole du Québec méridional*, rapport technique remis au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006.
- Régie régionale de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches. *Avis de santé publique portant sur les risques à la santé associées aux activités de production animale en Chaudière-Appalaches*, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches, 2001, <[http://www.rrss12.gouv.qc.ca/pdf/Avis-Production\\_animales-mars\\_01.pdf](http://www.rrss12.gouv.qc.ca/pdf/Avis-Production_animales-mars_01.pdf)>, [consultation : 3 mai 2007].
- Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik. *Qanuippitaa ? L'enquête de santé du Nunavik*, Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik, 2004, <<http://qanuippitaa.com/fr/index.aspx>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Régnière J., B.J. Cooke, J.A. Logan, A.L. Carroll et L. Safranyik. « Les changements climatiques et les ravageurs indigènes et exotiques : une nouvelle réalité ? », dans *Changements climatiques et forêt : impacts et adaptation*, comptes-rendus du colloque tenu les 20 et 21 avril 2005 à Baie-Comeau (Québec), 2006.
- Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation. *Les hauts et les bas du niveau de l'eau : la vulnérabilité des localités côtières face aux variations du niveau de l'eau*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, (C-CIARN), Secteur zones côtières, comptes-rendus de l'atelier national no 1, North Vancouver (Colombie-Britannique), 2003, <[http://c-ciarn.bio.ns.ca/documents/CZReport04-1\\_f.pdf](http://c-ciarn.bio.ns.ca/documents/CZReport04-1_f.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation. *Site Internet du C-CIARN-Nord*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2006, <<http://taiga.net/c-ciarn-north/>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Rivard, C., J. Marion, Y. Michaud, S. Benhammane, A. Morin, R. Lefebvre et A. Rivera. *Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada*, Commission géologique du Canada, Dossier public 1577, 2003, 39 p.
- Rizzo, B. et E. Wilken. « Assessing the sensitivity of Canada's ecosystems to climatic change », *Climatic Change*, vol. 21, n° 1, 1992, pp. 37-56.
- Robichaud, A. et R. Drolet. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent – Les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent*, Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Rapport technique, 1998.
- Rochette, P., G. Bélanger, Y. Castonguay, A. Bootsma et D. Mongrain. « Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 84, 2004, pp. 1113-1125.
- Root, T.L. et S.H. Schneider. « Climate change: Overview and Implications for Wildlife », dans *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*, S.H. Schneider et T.L. Root (éd.), Island Press, Washington, D.C., 2002, 437 p.
- Rounsevell, M.D.A., P.M. Berry et P.A. Harrison. « Future environmental change impacts on rural land use and biodiversity: a synthesis of the ACCELERATES project », *Environmental Science and Policy*, vol. 9, 2006, pp. 93-100.
- Rousseau, A., A. Mailhot et J.-P. Villeneuve. *Connaissons-nous bien la capacité des bassins versants et aquifères régionaux à fournir de l'eau potable à la population du Québec sous de nouvelles conditions climatiques ?*, 26<sup>e</sup> Symposium sur les eaux usées et 15<sup>e</sup> Atelier sur l'eau potable tenus les 17 et 18 septembre 2003 à Laval (Québec), 2003.
- Rousseau, A.N., A. Mailhot, M. Slivitzky, J.-P. Villeneuve, M.J. Rodriguez et A. Bourque. « Usages et approvisionnement en eau dans le Sud du Québec. Niveaux des connaissances et axes de recherche à privilégier dans une perspective de changements climatiques », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 29, n° 2, 2004, pp. 125-138.
- Rousseau, A. N., D. Quibell, S. Savary, S. Ricard, J.-S. Moquet, M.S. Garbouj et M. Duchemin. *Vulnérabilité de l'agriculture en réponse aux changements climatiques : étude de l'influence passée et future de l'occupation agricole du territoire d'un bassin versant, à l'aide d'un système de modélisation intégrée*, rapport final remis au Fonds d'action pour le changement climatique, projet A946, 2007, 336 p.
- Roy L. *Le verglas de 1998 dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord*, Bulletin d'information en santé environnementale (BISE), Institut national de santé publique du Québec, 1998, <[http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise\\_9\\_6.asp?Année=1998#article2](http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise_9_6.asp?Année=1998#article2)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Santé Canada. *Qualité de l'air et ses effets sur la santé*, Santé Canada, 2004, <[http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite\\_air/effets\\_sante.htm](http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite_air/effets_sante.htm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Santé Canada. *Exercice de chaleur accablante*, rapport DDH Environnement Ltée, no 05-044. Montréal (Québec), 2005, 48 p.
- Saucier, F., S. Senneville, S. Prinsenberg, F. Roy, G. Smith, P. Gachon, D. Caya et R. Laprise. « Modelling the sea ice-ocean seasonal cycle in Hudson Bay, Foxe Basin and Hudson Strait, Canada », *Climate Dynamics*, vol. 23, n° 3-4, 2004, pp. 303-326.
- Scherm, H. « Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management ? », *Revue canadienne de phytopathologie*, vol 26, 2004, pp. 267-273.
- Schweizer, J. et J.B. Jamieson. « Snow stability measurements », dans *Proceedings International Seminar on Snow and Avalanches Test Sites*, 22 et 23 novembre 2001, Grenoble, France, Cemagref Editions, 2003, pp. 317-331, <<http://www.schulich.ucalgary.ca/Civil/Avalanche/Papers/SnowStabilityMeasurements.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Scott, D., J.R. Malcom et C. Lemieux. « Climate change and modelled biome representation in Canada's national park mandates », *Global Ecology & Biogeography*, vol. 11, 2002, pp. 475-484.
- Scott, D., G. McBoyle et A. Minogue. « Climate change and Quebec's ski industry », *Global Environmental Change*, vol. 17, n° 2, 2006, pp. 181-190.
- Secretan, Y., M. Leclerc, É. Larouche, P. Boubreau et N. Roy. *Système d'évaluation et de gestion des risques d'inondation en milieu fluvial (SEGRI)*, rapport final, Institut national de recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, Québec (Québec), Rapport de recherche 720 f, viii, 2006, 128 p.
- Secrétariat aux affaires autochtones. *La population autochtone au Québec*, Secrétariat aux affaires autochtones, 2006, <<http://www.autochtones.gouv.qc.ca/nations/population.htm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Sécurité publique Canada. *Glisements de terrain et avalanches importants des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles*, Sécurité publique Canada, 2006, <<http://www.pspc-sppcc.gc.ca/res/em/nhsa/lsa-sig-fr.asp>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Seguin, M.K. et M. Allard. « Le pergélisol et les processus thermokarstiques de la région de la rivière Nastapoca, Nouveau-Québec », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 38, 1984, pp. 11-25.
- Shuter, B.J., C.K. Minns, H.A. Regier et J.D. Reist. « L'Étude pancanadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique - Secteur des pêches », dans *Impacts d'adaptation à la variabilité et au changement climatique : questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, Étude pancanadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique, vol. VII, 1998, pp. 277-344.
- Singh, B., C. Bryant, P. André et J.-P. Thouez. *Impact et adaptation aux changements climatiques pour les activités de ski et de golf et l'industrie touristique: le cas du Québec*, rapport final, projet Ouranos, 2006, <<http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/tourisme.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Slivitzky, M., A. Frigon et D. Caya. *Impact du changement climatique sur le régime hydrologique des rivières du nord du Québec et du Labrador*, 57<sup>e</sup> congrès annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques tenu du 16 au 18 juin 2004 à Montréal (Québec), 2004.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Site Internet*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1996, <[http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/ampa/ampa\\_003.cfm](http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/ampa/ampa_003.cfm)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Solomon-Côté, P. *Élaboration d'une classification de terrain en milieu de pergélisol à l'aide d'un SIG, en vue de l'aménagement du territoire: Le cas de Salluit au Nunavik*, thèse de maîtrise, Département de géographie, Université Laval, Québec (Québec), 2004, 113 p.
- Sottile, M.-F. *Changements climatiques pour la révision des normes d'efficacité énergétique dans les nouveaux bâtiments*, étude réalisée pour l'Agence de l'efficacité énergétique, 2006, 20 p., <[http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Sottile\\_109.pdf](http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Sottile_109.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].

- Statistique Canada. *Coverage – 2001 Census Technical Report*, Statistique Canada, 2001, <[http://www12.statcan.ca/english/census01/Products/Reference/tech\\_rep/coverage/offline%20documents/92-394-XIE.pdf](http://www12.statcan.ca/english/census01/Products/Reference/tech_rep/coverage/offline%20documents/92-394-XIE.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Statistique Canada. *Recensement de l'agriculture de 2001, Données sur les exploitants et les exploitations agricoles*, Statistique Canada, CD-ROM, 2002.
- Statistique Canada. *Bulletin d'analyse -- Régions rurales et petites villes du Canada*, Statistique Canada, 2005, vol. 6, n° 6
- Statistique Canada. *L'âge de l'infrastructure publique au Canada*, analyse en bref, V. Gaudreau et P. Lemire, Division de l'investissement et du stock de capital, Statistique Canada, 2006, 13 p.
- Statistique Canada. *Portrait de la population canadienne en 2006 : dynamique de la population infraprovinciale – la RMR de Montréal*, série du recensement 2006, Statistique Canada, 2007a, <<http://www12.statcan.ca/francais/census06/analysis/popdwel/Subprov4.cfm>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Statistique Canada. *Produit intérieur brut en termes de dépenses, par province et territoire, tableau CANSIM 384-0002 et no de catalogue 13-213-PPB, dernières modifications apportées le 25 avril 2007*, Statistique Canada, 2007b, <[http://cansim2.statcan.ca/cgi-win/cnsmcgi.exe?Lang=F&RootDir=CII/8ResultTemplate=CII/CII\\_pick&Array\\_Pick=1&ArrayId=384-0002](http://cansim2.statcan.ca/cgi-win/cnsmcgi.exe?Lang=F&RootDir=CII/8ResultTemplate=CII/CII_pick&Array_Pick=1&ArrayId=384-0002)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Stirling, I., N.J. Lunn et J. Iacozza. « Long-term trends in the population ecology of polar bears in western Hudson Bay in relation to climatic change », *Arctic*, vol. 52, n° 3, 1999, pp. 294–306.
- Stone, D.A., A.J. Weaver et F.W. Zwiers. « Trends in Canadian precipitation intensity », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, n° 2, 2000, pp. 321–347.
- Stratégie canadienne de lutte contre le cancer. Axe prioritaire d'intervention- groupe d'intervention primaire, Stratégie canadienne de lutte contre le cancer, 2001, <[http://209.217.127.72/sclc/ppagpage\\_fr1.html](http://209.217.127.72/sclc/ppagpage_fr1.html)>, [consultation : 13 avril 2006].
- Strode, P.K. « Implications of climate change for North American wood warblers » (Parulidae), *Global Change Biology*, vol. 9, 2003, pp. 1137–1144.
- Swanson, E. et N. El-Jabi. *Impact of climate change on river water temperatures and fish growth*, rapport rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2001.
- Tanguay J. et J.-J. Roussel. « Un système d'aide aux décisions hivernales », *Innovation Transport, Bulletin scientifique et technique*, no 9, 2000.
- Tanner, C.E., M. Staudt, R. Adamowski, M. Lussier, S. Bertrand et R.K. Prichard. « Seroepidemiological study for five different zoonotic parasites in northern Quebec », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 78, n° 4, 1987, pp. 262–266.
- Tardif, I., C. Bellerose et E. Masson. *Environnements et santé: Le point de vue des Montérégians*, Bulletin d'information en santé environnementale (BISE), Institut national de santé publique du Québec, 2006, <<http://www.inspq.qc.ca/pdf/bulletins/bise/BISE-17-6.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Tebaldi, C., K. Hayhoe, J.M. Arblaster et G.A. Meehl. « Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events », *Climatic Change*, vol. 79, n° 3-4, pp. 185–211.
- Tremblay, M., C. Furgal, V. Lafontaine, C. Larivée, J.P. Savard, M. Barrett, T. Annanack, N. Enish, P. Tookaloob et B. Etidloie. « Climate change, communities and ice: Bringing together traditional and scientific knowledge for adaptation in the North », dans *Climate Change: Linking Traditional and Scientific Knowledge*, R Rieve et J Oakes (éd.), Aboriginal Issues Press, University of Manitoba, Winnipeg (Manitoba), 2006, pp. 185–201.
- Tremblay, C., L. Jacques, C. Prévost, M. Noizeux, M. Blackburn et L. Boileau. *Les impacts du verglas de 1998 sur la santé des Montérégians*, Bulletin d'information en santé environnementale (BISE), Institut national de santé publique du Québec, 1998, <[http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise\\_9\\_6.asp?Annee=1998#article1](http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise_9_6.asp?Annee=1998#article1)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Turcotte, R., L.G. Fortin, S. Pugin, et J.F. Cyr. *Impact des changements climatiques sur les plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer: résultats préliminaires*, comptes-rendus du Congrès annuel de l'Association canadienne des barrages tenu du 3 au 5 octobre 2005 à Calgary (Alberta), 2005.
- Turgeon, K., O. Champoux, S. Martin et J. Morin. *Modélisation des grandes classes de milieux humides de la plaine inondable du fleuve Saint-Laurent : considération de la succession des communautés végétales*, rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RS-107, Environnement Canada, 2005, 89 p.
- United States Global Change Research Program. *Climate change and a global city: an assessment of the Metropolitan East Coast region*, United States Global Change Research Program, 2000, <[http://metroeast\\_climate.ciesin.columbia.edu/reports/assessmentsynth.pdf](http://metroeast_climate.ciesin.columbia.edu/reports/assessmentsynth.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Vescovi, L. « The state of Canada's water », chapitre 1 dans *Water Resources of North America*, A.K. Biswas (éd.), Centre for Water Management, Mexico, Mexique, Springer-Verlag, 2003.
- Vescovi, L., M. Rebetez et F. Rong. « Assessing public health risk due to extremely high temperature events: climate and social parameters », *Climate Research*, vol. 30, 2005, pp. 71–78.
- Ville de Montréal. *Le plan stratégique de développement durable de Montréal*, Ville de Montréal 2005, <[http://www2.ville.montreal.qc.ca/cmsprod/fr/developpement\\_durable/plan\\_strategique](http://www2.ville.montreal.qc.ca/cmsprod/fr/developpement_durable/plan_strategique)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Villeneuve, J.P., D. Fougères, M. Gaudreau, P.-J. Hamel, C. Poitras, G. Sénacl, M. Trépanier, N. Vachon, R. Veillette, S. Duchesne, A. Mailhot, E. Musso et G. Pelletier. *Synthèse des rapports INRS-Urbanisation et INRS-Eau sur les besoins des municipalités québécoises en réfection et construction d'infrastructures d'eaux*, Institut national de recherche scientifique-Urbanisation et Institut national de recherche scientifique-Eau, Rapport de recherche no. R517-b, 1998, 50 p., <<http://www.inrs-ete.quebec.ca/pub/r517b.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Villeneuve, J.-P., A. Mailhot et E. Salvano. *Problématique de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'eau potable dans la nouvelle ville de Québec*, Institut national de recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, 2001, 122 p.
- Visser, M.E. et C. Both. « Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick », *Proceedings of the Royal Society*, B 272, 2005, pp. 2561–2569, <<http://www.rug.nl/biologie/onderzoek/onderzoeksgroepen/dierocologie/publications/2Visser05.pdf>>, [consultation : 2 mai 2007].
- Voituriez, B. Les humeurs de l'océan. *Effets sur le climat et les ressources vivantes*, dans la collection « COI Forum Océans », Organisation des Nations Unies pour l'éducation, les sciences et la culture (UNESCO), Paris, France, 2003, 158 p.
- Wall, G. « Implications of Global Climate Change for Tourism and Recreation in Wetland Areas », *Climatic Change*, vol. 40, n° 2, 1998, pp. 371–389.
- Wall, E., B. Smit et J. Wandell. *Canadian Agri-food Sector Adaptation to Risks and Opportunities from Climate Change*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN)-Agriculture, 2004, 68 p.
- Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg et F. Bairlein. « Ecological response to recent climate change », *Nature*, vol. 416, 2002, pp. 389–395.
- Wang, X.L., V.R. Swail et F.W. Zwiers. « Climatology and changes of extra-tropical cyclone activity: comparison of ERA40 with NCEP/NCAR Reanalysis for 1958–2001 », *Geophysical Research Abstracts*, vol. 8, 03146, 2006.
- Wettstein, J.J. et L.O. Mearns. « The influence of the North Atlantic-Arctic Oscillation on mean, variance and extremes of temperature in the Northeastern United States and Canada », *Journal of Climate*, vol. 15, 2002.
- Wijngaard, J.B., A.M.G. Klein Tank et G.P. Konnen. « Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series », *International Journal of Climatology*, vol. 23, 2003, pp. 679–692.
- Wilton, D. et T. Wirjanto. *An Analysis of the Seasonal Variation in the National Tourism Indicators*, Commission canadienne de tourisme, Ottawa (Ontario), 1998.
- Wotton, B.M. et M.D. Flannigan. « Length of the fire season in a changing climate », *The Forestry Chronicle*, vol. 69, 1993, pp. 187–192.
- Wotton, B.M., D.L. Martell et K.A. Logan. « Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario », *Climatic Change*, vol. 60, n° 3, 2003, pp. 275–295.
- Wrona, F., T. Prowse, J. Reist, R. Beamish, J.J. Gibson, J. Hobbie, E. Jeppesen, J. King, A. Korhola, R. Macdonald, M. Power, V. Skvortsov, G. Keock, W. Vincent et L. Levesque. « Freshwater Arctic Ecosystems », chapitre 7 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 353–452.
- Xu, Z., F.J. Saucier et D. Lefavre. « Water Level Variations in the Estuary and Gulf of St.Lawrence », dans *Understanding Sea-Level Rise and Variability*, atelier tenu du 6 au 9 juin 2006 à Paris, France, 2006.
- Yagouti A., G. Boulet et L. Vescovi. « Homogénéisation des séries de températures et analyse de la variabilité spatio-temporelle de ces séries au Québec méridional », rapport no 4 dans *Homogénéisation des séries de températures du Québec méridional et analyse de l'évolution du climat à l'aide d'indicateurs*, Ouranos, Montréal (Québec), 2006, 140 p., <[http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Rapport\\_final\\_MDDEP\\_Ouranos\\_projet7%2020120.pdf](http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Rapport_final_MDDEP_Ouranos_projet7%2020120.pdf)>, [consultation : 2 mai 2007].
- Yagouti A., G. Boulet, L. Vincent et L. Vescovi. « Analyse de l'évolution de la température et de quelques indicateurs climatiques au Québec méridional entre 1960 et 2003 », *Atmosphere- Ocean*, sous presse.
- Zhang, X., W.D. Hogg et E. Mekis. « Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada », *American Meteorological Society*, vol. 14, n° 9, 2001, pp. 1923–1936.
- Zhang, K., B.C. Douglas et S.P. Leatherman. « Global Warming and Coastal Erosion », *Climatic Change*, vol. 64, n° 1-2, 2004, pp. 41–58.