

CHAPITRE 7

Prairies



PRAIRIES

Auteurs principaux :

Dave Sauchyn¹ et Suren Kulshreshtha²

Collaborateurs :

Elaine Barrow (*Université de Regina*), Danny Blair (*Université de Winnipeg*), Jim Byrne (*Université de Lethbridge*), Debra Davidson (*Université de l'Alberta*), Polo Diaz (*Université de Regina*), Norm Henderson (*Université de Regina*), Dan Johnson (*Université de Lethbridge*), Mark Johnston (*Saskatchewan Research Council*), Stefan Kienzle (*Université de Lethbridge*), Justine Klaver (*Université de l'Alberta*), Jeff Thorpe (*Saskatchewan Research Council*), Elaine Wheaton (*Saskatchewan Research Council*)

Notation bibliographique recommandée :

Sauchyn, D. et S. Kulshreshtha. « Prairies », 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. 275-328.

¹ Prairie Adaptation Research Collaborative, University of Regina, Regina (Saskatchewan)

² Department of Agricultural Economics, University of Saskatchewan, Saskatoon (Saskatchewan)

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION.....	278
1.1 Description des provinces des Prairies.....	279
1.2 Environnement et économie par écozone	280
2 CLIMAT ET CARACTÉRISTIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA RÉGION	282
2.1 Données démographiques	282
2.2 Activités économiques et emploi	283
2.3 Tendances et projections économiques et sociales	284
2.4 Climat du passé	284
2.5 Scénarios du climat à venir	285
3 SENSIBILITÉS ET PRINCIPALES VULNÉRABILITÉS : CAPITAL NATUREL.....	290
3.1 Ressources en eau.....	290
3.2 Écosystèmes	292
3.3 Pédopaysages	295
4 RISQUES ET POSSIBILITÉS : SECTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES	296
4.1 Agriculture	296
4.2 Industrie forestière.....	301
4.3 Transports	304
4.4 Collectivités.....	306
4.5 Santé.....	309
4.6 Énergie.....	311
4.7 Tourisme et loisirs	313
5 ADAPTATION ET CAPACITÉ D'ADAPTATION.....	314
5.1 Institutions officielles et gouvernance	314
5.1.1 Gestion des ressources en eau	315
5.1.2 Gestion des écosystèmes	316
5.1.3 Agriculture	316
5.1.4 Industrie forestière	317
5.1.5 Santé et bien-être.....	317
5.2 Adaptation à l'échelle locale, institutions non officielles et capital social	317
6 SYNTHÈSE	319
RÉFÉRENCES	321

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Une augmentation des pénuries d'eau représente le risque le plus sérieux lié au climat. Les Prairies renferment la majeure partie des terres sèches du Canada. Parmi les récentes tendances observées et les prévisions pour l'avenir figurent la réduction du débit des cours d'eau en été, la baisse du niveau des lacs, le recul des glaciers et des déficits croissants en eau du sol et en eaux de surface. Une augmentation de la fréquence des années sèches entraînera probablement une tendance à l'accroissement de l'aridité. Cependant, les mesures de gestion et de conservation de l'eau continueront de permettre l'adaptation au changement et à la variabilité du climat. Ces mesures pourraient comprendre des technologies d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau ainsi que des systèmes de tarification de l'eau qui reflèteraient mieux les coûts réels du traitement de l'eau et de son approvisionnement, et aideraient à faire en sorte que cette ressource de plus en plus rare soit attribuée de façon appropriée. L'augmentation de la productivité des forêts, des prairies et des cultures due au réchauffement et à l'accroissement du CO₂ atmosphérique pourrait être limitée par l'humidité disponible dans le sol, et les sols asséchés sont, en outre, plus vulnérables à la détérioration. La rareté de l'eau, qui représente une contrainte pour tous les secteurs et collectivités, pourrait ainsi freiner la croissance économique et démographique dont jouit l'Alberta.

Les écosystèmes subiront les conséquences des modifications se manifestant au niveau du bioclimat, des changements des régimes de perturbation (p. ex., les insectes et les incendies), de l'imposition de stress aux habitats aquatiques et de l'apparition de plantes et d'animaux exotiques. Ces répercussions se feront le plus remarquer dans les îlots de forêt isolés et les zones forestières périphériques. Les conséquences se feront sentir sur les moyens de subsistance (p. ex., pour les Autochtones) et sur les secteurs économiques (p. ex., l'agriculture, l'industrie forestière) qui dépendent énormément des écoservices. Des ajustements devront être apportés à la gestion des écosystèmes pour permettre au changement de se produire d'une façon durable.

Les Prairies voient disparaître certains des avantages que leur procuraient les hivers froids. Ces derniers aidaient à restreindre l'étendue des ravageurs et des maladies, facilitaient les travaux entrepris en hiver dans les secteurs de la foresterie et de l'énergie et permettaient un accès plus facile aux collectivités éloignées grâce aux chemins d'hiver. À mesure que les températures continuent de grimper, ces avantages vont diminuer, voire disparaître. Par exemple, le dendroctone du pin ponderosa pourrait s'étendre et attaquer les forêts de pin gris des Prairies, les sites d'exploration et de forage pourraient devenir moins accessibles et il serait fort probable que la saison où les chemins d'hiver sont praticables raccourcisse.

Les ressources et les collectivités sont sensibles à la variabilité du climat. Le climat des Prairies est l'un des plus variables du monde. Cette variabilité s'est avérée à la fois coûteuse (p. ex., elle a entraîné une diminution de la production agricole d'environ 3,6 milliards de dollars au cours de la période de sécheresse de 2001 et 2002) et à l'origine de la plupart des réactions d'adaptation à la variabilité climatique. Les prévisions des conditions climatiques pour l'avenir font état non seulement d'une augmentation de la fréquence des sécheresses, mais aussi d'une hausse des précipitations sous forme de pluie et de la probabilité accrue d'inondations graves. Les phénomènes extrêmes et un élargissement de la plage des écarts d'une année à l'autre par rapport aux normales climatologiques posent pour l'économie des Prairies des risques plus importants qu'un simple décalage dans les conditions moyennes.

La capacité d'adaptation, bien que grande, est répartie inégalement. Par conséquent, les degrés de vulnérabilité sont inégaux sur les plans géographique (p. ex., les collectivités rurales ont généralement moins de ressources et de capacités d'intervention en cas d'urgence) et démographique (p.ex., les populations de personnes âgées, d'Autochtones et d'immigrants nouvellement arrivés sont celles qui croissent le plus rapidement et qui sont les plus vulnérables aux répercussions sur la santé). Le changement climatique pourrait favoriser une migration accrue des collectivités rurales vers les villes et vers les régions possédant le plus de ressources (p. ex., les villes de l'Alberta). La capacité d'adaptation sera mise à l'épreuve par les augmentations prévues de la variabilité du climat et de la fréquence des phénomènes extrêmes.

Les processus d'adaptation ne sont pas bien compris. Même si une capacité d'adaptation élevée pouvait réduire les répercussions possibles du changement climatique, on ne sait pas tout à fait comment cette capacité sera appliquée. La plupart des recherches existantes ne rendent pas bien compte des mesures ni des processus d'adaptation. Cette capacité n'est que potentielle – les institutions et la société civile joueront un rôle clé dans sa mobilisation. Des mesures d'adaptation récemment appliquées au secteur agricole, telles que les techniques de travail réduit du sol et la diversification des cultures, la politique de l'eau adoptée en Alberta, la reconfiguration du canal de dérivation de la rivière Rouge, les programmes municipaux d'infrastructures et de conservation de l'eau, ont amélioré le niveau de résistance et accru la capacité d'adaptation.

1 INTRODUCTION

La plupart des modèles climatiques laissent prévoir de grandes élévations de la température annuelle moyenne aux hautes latitudes de l'hémisphère Nord (Cubasch *et al.* 2001). Conformément à ces prévisions, les températures enregistrées dans les provinces des Prairies indiquent d'importantes tendances à la hausse, en particulier depuis les années 1970 (voir la figure 1). Les conséquences favorables de ce réchauffement général, en particulier l'élévation des températures printanières, sont un allongement et un réchauffement de la saison de croissance, et une augmentation de la productivité des forêts, des cultures et des prairies là où l'humidité du sol est adéquate.

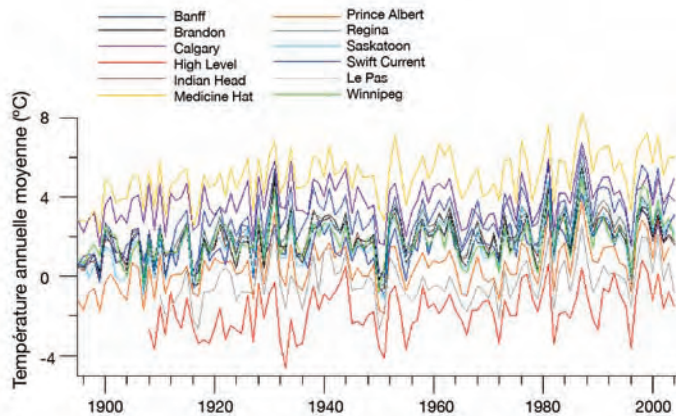


FIGURE 1 : Tendances de la température annuelle moyenne depuis 1985 enregistrées à 12 stations climatiques réparties dans les provinces des Prairies. Ces 12 stations rapportent une augmentation moyenne de 1,6 °C de la température annuelle moyenne (Environnement Canada, 2005).

Malheureusement, on prévoit également un assèchement estival des régions centrales des continents sur toute la planète, car l'augmentation des pertes d'eau par évapotranspiration ne sera pas compensée par un accroissement des précipitations (Gregory *et al.*, 1997; Cubasch *et al.* 2001). Les prévisions vont de déficits légers d'humidité dans le sol (Seneviratne *et al.*, 2002) à des déficits graves (Wetherald & Manabe, 1999), principalement en fonction de la complexité de la simulation des processus en jeu à la surface des terres. Le taux d'aridité accru aura des conséquences majeures pour les provinces des Prairies, soit la région la plus étendue et la plus sèche du Canada. Les déficits hydriques à court terme (sécheresses) périodiques ont un effet sur l'économie, l'histoire, l'environnement et la culture des Prairies. Toutes les régions du pays connaissent des déficits en eau saisonniers, mais ce n'est que dans les provinces des Prairies que les précipitations peuvent cesser pendant plus d'un mois, que l'eau de surface peut disparaître pendant des saisons entières, et que les déficits en eau peuvent persister pendant des décennies ou plus, autant de phénomènes susceptibles de créer un risque de désertification des paysages.

La baisse des niveaux des lacs des Prairies (voir la figure 2) semble indiquer également que l'on assiste à la création d'un milieu en voie

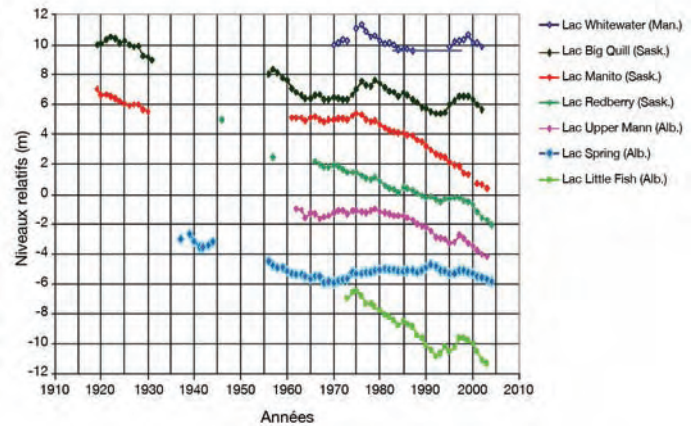


FIGURE 2 : Niveaux d'eau historiques de lacs à bassin fermé des Prairies. Tiré de van der Kamp *et al.*, 2006; van der Kamp et Keir, 2005.

d'assèchement. Les lacs à bassin fermé sont des indicateurs sensibles des changements hydrologiques et climatiques (van der Kamp et Keir, 2005; van der Kamp *et al.*, 2006). Les fluctuations du niveau des lacs peuvent être liées à l'utilisation des terres et aux dérivations des eaux, mais les tendances similaires observées dans des lacs de l'ensemble des Prairies mettent en cause des paramètres climatiques, en particulier les hausses des températures, les changements dans la quantité de neige (Gan, 1998), les changements de l'intensité des pluies (Akinremi *et al.*, 1999) et les bilans hydriques de ces lacs.

Les collectivités et les institutions des provinces des Prairies sont très aptes à tirer avantage des températures plus élevées et à minimiser les répercussions nuisibles du changement climatique en raison de leur abondance relative de capital financier, de capital social et de capital naturel. On constate cependant des disparités à l'échelle de la sous-région qui sont le produit des forces et des faiblesses reliées aux facteurs déterminants de la capacité d'adaptation (voir le tableau 1). Il existe, cependant, des facteurs socio-économiques et environnementaux clés sous-jacents à la vulnérabilité de la région au changement climatique. Par exemple, les Prairies :

- constituent la plus vaste région de terres sèches du Canada, où les déficits en eau saisonniers et prolongés définissent le milieu naturel et influent fortement sur les activités humaines;
- englobent plus de 80 p. 100 des terres agricoles du Canada, où la production et les paysages sont sensibles à la variabilité du climat;
- comptent sur l'eau d'irrigation provenant des Rocheuses, dont l'hydrologie est sujette à subir les effets du changement climatique;
- jouissent d'un climat qui, depuis la colonisation par les Européens, n'a pas été marqué par les sécheresses prolongées des siècles antérieurs;
- subiront, selon certains scénarios de changement climatique, des sécheresses plus graves;
- ont besoin d'eau pour traiter les plus grandes réserves de pétrole et de gaz du Canada;

TABLEAU 1 : Capacité d'adaptation dans les Prairies : forces et faiblesses.

Élément déterminant	Forces	Faiblesses
Ressources économiquement exploitables	Importantes, spécialement en Alberta et dans les centres urbains	Les collectivités rurales éloignées manquent de diversification économique; individus par rapport aux entreprises (p. ex., les fermes familiales par rapport aux fermes constituées en sociétés)
Technologie	Énergie de remplacement et technologies de réduction des émissions de gaz à effet de serre	Moins de technologies d'adaptation (p. ex., conservation de l'eau)
Information et compétences	Divers programmes de recherche sur le changement climatique en association avec les universités et les organismes gouvernementaux	Restrictions dans les programmes de surveillance du climat et de l'eau; compréhension médiocre des dimensions sociales du changement climatique
Infrastructures	Bien développées dans les régions peuplées; conceptions actuelles qui tiennent compte du changement climatique (p. ex., canal de dérivation de Winnipeg); les retards dans la modernisation et le remplacement des infrastructures fournissent des possibilités de tenir compte du climat futur	Vaste superficie (p. ex., la Saskatchewan a plus de routes que toute autre province : Nix, 1995); déficits provenant des restrictions budgétaires imposées dans les années 1990
Institutions	Engagement dans le renforcement des capacités et l'évaluation de la vulnérabilité (p. ex., l'évaluation de la vulnérabilité par l'Alberta; Davidson, 2006; Sauchyn et al., 2007)	Accent mis sur l'atténuation; on ne fait que commencer à élaborer des stratégies d'adaptation
Équité	Programmes sociaux	Répercussions sur la santé des populations plus vulnérables : Premières nations, collectivités rurales, en particulier les établissements éloignés, les personnes âgées et les enfants

- comprennent les villes et les économies qui connaissent la croissance la plus rapide du Canada;
- ont la plus forte concentration de populations autochtones au Canada à l'extérieur des Territoires du Nord-Ouest, ces dernières constituant d'ailleurs le segment de la population de la région dont la croissance est la plus rapide.

Bien que les prairies ne représentent en fait qu'environ 25 p. 100 de la surface totale des provinces des Prairies, les Canadiens donnent néanmoins à ces dernières le nom de « Prairies », terminologie qui est donc adoptée dans le présent document. Pour traiter de l'écosystème des Prairies dans ce chapitre, les auteurs ont recours à la désignation officielle « écozone des Prairies », « prairie », ou « prairie mixte ». Ces concepts géographiques sont définis dans la section qui suit, laquelle expose brièvement l'environnement et l'économie des provinces des Prairies. La section 2 décrit les caractéristiques climatiques et socio-économiques qui exposent la population aux possibilités et aux risques actuels et futurs liés au climat. Dans les sections 3 et 4, on discute des sensibilités au climat actuel et des principales vulnérabilités au changement climatique du point de vue du capital naturel et des secteurs socio-économiques. Le processus d'adaptation et le concept de capacité d'adaptation sont étudiés à la section 5. Le chapitre se termine par une synthèse des principales conclusions.

1.1 DESCRIPTION DES PROVINCES DES PRAIRIES

Avec une population de 5 428 500 habitants et une superficie de près de deux millions de kilomètres carrés de terres et de plans d'eau, les provinces des Prairies représentent 20 p. 100 de la superficie du Canada (voir le tableau 2) et 17 p. 100 de sa population. L'Alberta, la

Saskatchewan et le Manitoba ont des superficies à peu près égales, mais leurs populations ne le sont pas (voir le tableau 3). Les populations sont à caractère de plus en plus urbain (centres de plus de 1 000 habitants) et sont concentrées en Alberta. Entre 1901 et 2001, la proportion de la population de cette région classée urbaine s'est accrue, passant de moins de 25 p. 100 à plus de 75 p. 100 (voir la section 2).

Les provinces des Prairies s'étendent vers l'ouest à partir de la baie d'Hudson jusqu'à la crête des montagnes Rocheuses. Elles englobent donc plusieurs grandes zones climatiques, biogéographiques et géologiques, et des bassins hydrographiques (voir la figure 3). Cette région étant située à moyenne latitude dans la zone d'ombre pluviométrique des montagnes Rocheuses, le climat y est généralement froid et subhumide. Les températures saisonnières se caractérisent par des différences extrêmes; par exemple, de 1971 à 1990, les températures moyennes durant les mois les plus froids et les mois les plus chauds ont été de -7,8 °C et de 15,5 °C à Lethbridge, et de -17,8 °C et de 19,5 °C à Winnipeg. Les températures annuelles moyennes les plus élevées sont enregistrées dans le sud de l'Alberta, où les épisodes de chinook les réchauffent l'hiver; elles décroissent vers le nord de l'Alberta, de la Saskatchewan et du Manitoba, qui connaissent des étés courts et frais et des hivers froids (voir la figure 4a). Les précipitations annuelles varient considérablement d'une année à l'autre, allant de moins de 300 mm dans la prairie semi-aride à environ 700 mm dans le centre du Manitoba (voir la figure 4b) et à plus de 1 000 mm dans les parties les plus élevées des Rocheuses. Partout dans les provinces des Prairies, la neige joue un rôle important pour le stockage de l'eau et l'apport de l'humidité du sol. Les mois les plus humides vont d'avril à juin.

Les régimes de températures et de précipitations présentés à la figure 4 se traduisent par un déficit hydrique annuel dans les plaines

TABLEAU 2 : Superficie des terres et des plans d'eau douce (en km²) du Canada et des provinces des Prairies (*tiré de Ressources naturelles Canada, 2001*).

	Superficie totale	Terres	Eau douce	Pourcentage de la superficie totale
Canada	9 984 670	9 093 507	891 163	100,0
Manitoba	647 797	553 556	94 241	6,5
Saskatchewan	651 036	591 670	59 366	6,5
Alberta	661 848	642 317	19 531	6,6
Provinces des Prairies	1 960 681	1 787 543	173 138	19,6

TABLEAU 3 : Population du Canada et des provinces des Prairies (*tiré de Statistique Canada, 2005a*).

	Population (en milliers d'habitants)	
	2001	2005
Canada	31 021,3	32 270,5
Manitoba	1 151,3	1 177,6
Saskatchewan	1 000,1	994,1
Alberta	3 056,7	3 256,8
Provinces des Prairies	5 208,1	5 428,5



FIGURE 3 : Principaux bassins hydrographiques et provinces géologiques des provinces des Prairies.

du sud et de l'ouest, et par un surplus dans les Rocheuses et les contreforts, ainsi que dans le nord et l'est de la forêt boréale. La majorité du ruissellement provenant de ces régions plus humides est transportée vers l'est par le réseau hydrographique de la Saskatchewan, du Nelson et de la Churchill, jusque dans la baie d'Hudson, et vers le nord par les rivières Athabasca, de la Paix et Hay, jusqu'au Mackenzie et à l'océan Arctique (*voir la figure 3*). La quantité d'eau de ruissellement générée dans tout le sud des Prairies est faible, et de grandes superficies sont drainées par des cours d'eau intérieurs intermittents. Les quelques cours d'eau permanents du sud sont donc importants en tant que sources d'eau locales. Les rivières qui traversent les plaines du sud, dont l'eau fait l'objet d'une forte demande, présentent un contraste marqué avec les grandes rivières, les innombrables lacs et les populations éparses des forêts et du bouclier du Nord.

1.2 ENVIRONNEMENT ET ÉCONOMIE PAR ÉCOZONE

Sept écozones de la classification écologique des terres du Canada sont situées à l'intérieur des provinces des Prairies (*voir la figure 5*). Les écozones des Prairies et des plaines boréales comptent pour plus de 50 p. 100 de la superficie et englobent la majorité de la population. Les 25 p. 100 des provinces des Prairies qui constituent l'écozone des Prairies représentent le cœur agricole et industriel de la région. Il s'agit aussi de la région du pays qui a subi les modifications les plus grandes – il n'y reste que des vestiges des prairies mixtes et d'herbes hautes originelles, et moins de la moitié des terres humides d'avant la colonisation. La configuration des établissements reflète leurs fonctions d'origine en tant que centres

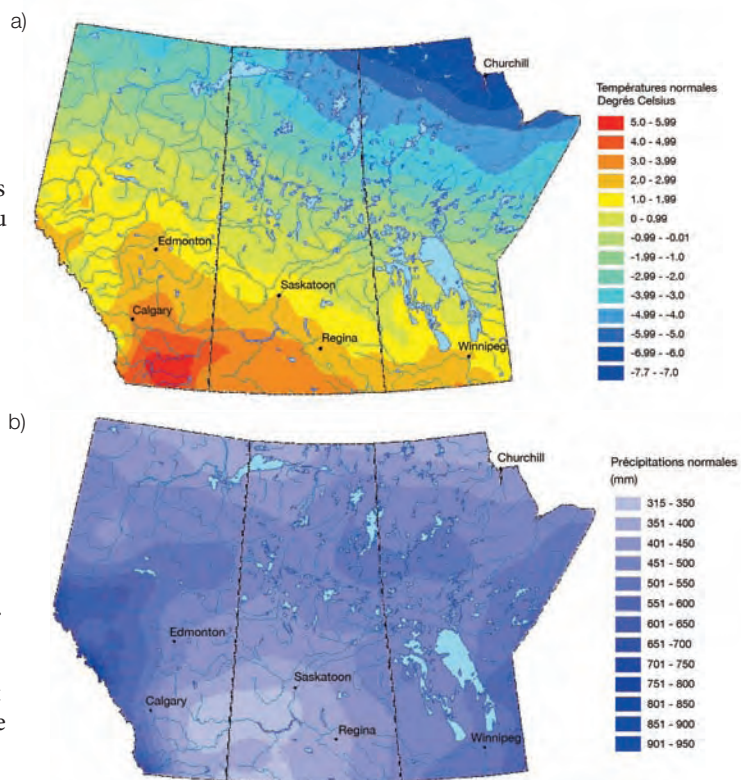


FIGURE 4 : Normales climatiques (de 1961 à 1990) pour les provinces des Prairies : a) températures et b) précipitations.



FIGURE 5 : Écozones des provinces des Prairies.

de services régionaux et points de collecte des produits agricoles le long des voies ferrées. Des centaines de collectivités ont disparu en raison de l'exode rural, du remembrement des exploitations agricoles et du système de collecte du grain, de l'abandon des voies ferrées et de la concentration des populations, des services et des richesses dans les centres urbains. Récemment, le Groupe financier de la banque TD (2005) a signalé que le PIB par habitant (une mesure du niveau de vie) dans le corridor de Calgary-Edmonton s'est accru de 4 000 \$US entre 2000 et 2003, pour atteindre 44 000 \$US, soit 47 p. 100 de plus que la moyenne canadienne.

Les provinces des Prairies comptent près de 50 p. 100 des fermes du Canada, mais plus de 80 p. 100 de ses terres agricoles (voir le tableau 4), principalement dans l'écozone des Prairies. Par le passé, l'exportation de céréales, d'oléagineux et de produits animaux a été une source importante d'échanges avec l'étranger pour le Canada. Maintenant, l'agriculture ne représente qu'un faible pourcentage du PIB des provinces par rapport à d'autres industries (voir la section 2), en particulier l'exploitation minière et la production d'énergie. La taille moyenne des fermes est beaucoup plus grande en Saskatchewan (plus de 500 ha) que dans les deux autres provinces. L'écozone des Prairies est caractérisée par des déficits en eau persistants et parfois graves. Les sécheresses sont très fréquentes et graves dans les prairies mixtes, l'une des cinq écorégions qu'englobe l'écozone des Prairies. Cette région est communément appelée « le triangle de Palliser », parce qu'elle a été décrite comme étant « comparativement inutile pour toujours » par John Palliser, après un levé effectué de 1857 à 1859. Dans cette sous-région du sud de l'Alberta et du sud-ouest de la Saskatchewan, la production de cultures agricoles et de fourrage est maintenue par l'irrigation, laquelle dépend de l'eau de ruissellement provenant des Rocheuses. L'irrigation représente la principale utilisation de l'eau en Alberta et en Saskatchewan, l'Alberta comptant presque deux tiers des terres irriguées du Canada.

Au nord des prairies et de la tremblaie, la végétation se transforme en forêts mixtes et de conifères – il y a environ 93 millions d'hectares de forêts dans les provinces des Prairies.

TABLEAU 4 : Nombre de fermes et superficie (ha) des terres agricoles au Canada et dans les provinces des Prairies en 2001 (tiré de Statistique Canada, 2001b).

	Alberta	Saskatchewan	Manitoba	Provinces des Prairies	Canada
Nombre total de fermes	53 652	50 598	21 071	125 321	246 923
Superficie en hectares	21 067 486	26 265 645	7 601 779	54 934 910	67 502 447

L'écozone des **Plaines boréales** du centre du Manitoba et de la Saskatchewan, et de la majeure partie du centre et du nord de l'Alberta a été la première région visitée par les Européens, car on y trouve des rivières navigables et des animaux à fourrure. Les plaines boréales sont maintenant de nouveau une région pionnière; en effet, elles comprennent d'importantes réserves de pétrole et de gaz, presque toute l'exploitation forestière commerciale, des terres agricoles en expansion dans le nord de l'Alberta et des centrales hydroélectriques au Manitoba et en Saskatchewan. Dans cette écozone, les populations autochtones ont conservé un mode de vie traditionnel et, pour elles, les espèces sauvages représentent des ressources particulièrement précieuses.

L'écozone du **Bouclier boréal** se trouve au nord et à l'est des plaines intérieures du nord de la Saskatchewan ainsi que du nord et de l'est du Manitoba. La mise en valeur des ressources des régions pionnières, en particulier l'exploitation minière, y constitue la pierre angulaire de l'économie. Les nations cries et dénées forment la majorité de la population.

Les quatre écozones restantes se trouvent sur les marges des provinces des Prairies et n'englobent qu'une petite partie de la superficie et de la population. L'écozone de la **taïga des plaines** s'étend de la vallée du Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest, jusqu'aux vallées de ses tributaires du nord-ouest de l'Alberta. La productivité de la forêt de la taïga est restreinte par le climat plus froid et la courte saison de croissance. L'écozone de la **taïga du Bouclier** traverse la région subarctique canadienne, y compris les extrémités nordiques du Manitoba et de la Saskatchewan et une petite partie du nord-est de l'Alberta. Comme le bouclier boréal, elle contient de riches ressources minérales et soutient le mode de vie traditionnel des nations cries et dénées. L'écozone des **Plaines hudsoniennes**, adjacente à la baie d'Hudson, dans le nord-est du Manitoba, est dominée par de vastes surfaces de terres humides. La ville de Churchill est un port de mer et un terminal ferroviaire d'importance. L'écozone de la **Cordillère montagnarde**, située dans les montagnes Rocheuses de l'ouest de l'Alberta, comporte une grande diversité écologique associée à des paysages de hauts reliefs allant des prairies à fétuque, de faible élévation, à la forêt montagnarde, aux forêts subalpines et à la toundra alpine. Les activités économiques dominantes y sont l'élevage du bétail et les loisirs au grand air. Une bonne partie de cette région est désignée en tant que parcs nationaux et provinciaux et zones protégées. L'exploitation des ressources, le charbonnage, l'exploitation forestière et la production de pétrole et de gaz entrent de plus en plus en conflit avec la protection de l'écologie et des bassins hydrographiques. La neige accumulée dans les montagnes et les glaciers de la Cordillère est la source de la majeure partie de l'écoulement des rivières et de l'approvisionnement en eau de tout le sud des Prairies.

2 CLIMAT ET CARACTÉRISTIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA RÉGION

2.1 DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES

Le présent profil démographique des provinces des Prairies a été constitué à partir de rapports publiés par Statistique Canada (2001a, 2005a, b, d-g) et par la Canada West Foundation (Azmier, 2002; Hirsch, 2005a, b). Le nombre d'habitants des provinces des Prairies a doublé au cours des 50 dernières années pour atteindre plus de cinq millions. Cette croissance démographique n'est cependant pas répartie également entre les provinces (voir la figure 6). L'Alberta compte en effet maintenant près des deux tiers de la population de cette région, comparativement à un peu plus du tiers en 1951 (voir la figure 6). Cette province, la plus jeune des trois provinces des Prairies, comprend d'ailleurs le plus fort pourcentage de population en âge de travailler, soit 61,4 p. 100 des gens âgés de 20 à 64 ans. La diminution de la population de la Saskatchewan est la conséquence d'une migration nette vers d'autres provinces qui a dépassé le faible apport dû à l'accroissement naturel et à l'immigration internationale nette, tandis que l'Alberta, elle, a connu des hausses de ces trois composantes de la croissance

démographique (voir le tableau 5). Les populations urbaines sont prédominantes dans les trois provinces, constituant de 64,3 p. 100 (en Saskatchewan) à 80,9 p. 100 (en Alberta) de la population totale (voir le tableau 6). En 2001, l'Alberta comptait le plus grand nombre d'Autochtones (168 000); ces derniers ne représentaient toutefois que 5,5 p. 100 de l'ensemble de sa population, soit un pourcentage inférieur à la proportion des Autochtones du Manitoba et de la Saskatchewan, où 14 p. 100 des habitants avaient des ancêtres autochtones.

TABLEAU 5 : Éléments du changement démographique de 2001 à 2004 (tiré de SaskTrends Monitor, 2005).

Province	Changement total en milliers de personnes (sur trois ans)				Hausse annuelle moyenne (p.100)
	Croissance naturelle	Migration internationale nette	Migration interprovinciale nette	Total	
Manitoba	11,7	16,6	-9,3	19,0	0,5 p.100
Saskatchewan	8,7	3,4	-16,9	-4,7	-0,2 p.100
Alberta	59,6	36,5	49,0	145,2	1,6 p.100

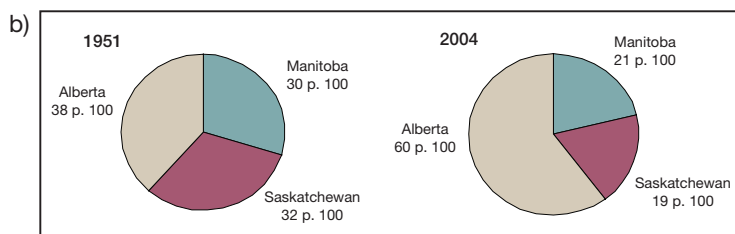
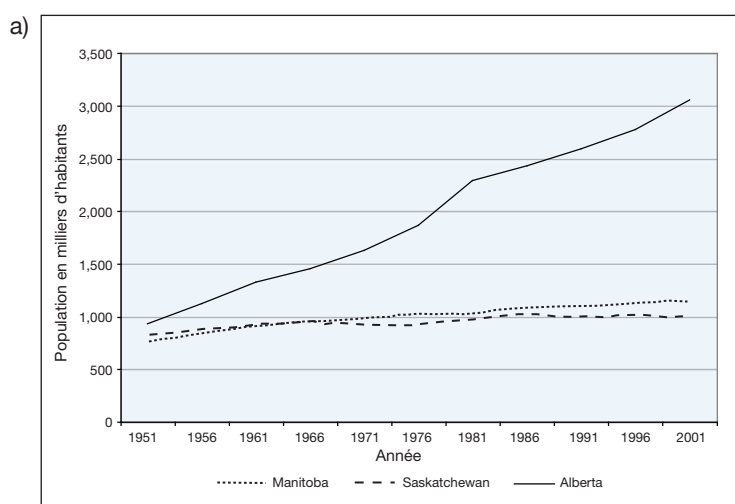


TABLEAU 6 : Populations urbaines et rurales dans les provinces des Prairies en 2001 (tiré de Statistique Canada, 2001a).

Province	Populations rurales	Populations urbaines
Alberta	19,1 p.100	80,9 p.100
Manitoba	28,1 p.100	71,9 p.100
Saskatchewan	35,7 p.100	64,3 p.100

FIGURE 6 : Populations des provinces des Prairies : a) tendances, par province, de 1951 à 2001; et b) répartition relative, par province, en 1951 et en 2004 (tiré de Statistique Canada, 2005d).

2.2 ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES ET EMPLOI

En 2004, la région des Prairies a contribué au produit intérieur brut (PIB) du Canada par des activités à valeur ajoutée se chiffrant à 202 milliards de dollars. Cette même année, l'Alberta enregistrait le PIB par habitant le plus élevé, soit 41 952 \$; celui de la Saskatchewan et du Manitoba était inférieur, se chiffrant à 33 282 \$ et à 30 054 \$ respectivement. La moyenne du PIB par habitant pour l'ensemble du Canada était de 40 386 \$ en 2004.

Les secteurs des ressources primaires contribuent le plus au PIB de la région, puisqu'ils comptent pour environ 25 p. 100 de la valeur ajoutée totale (voir le tableau 7). Ces données correspondent toutefois à l'année 2001, une année de sécheresse pour la majeure partie de l'Alberta et de la Saskatchewan, où la contribution de l'agriculture s'est avérée plus faible que d'habitude. Bien que la nature des productions primaires diffère d'une province à l'autre (voir le tableau 7), les provinces des Prairies ont une dépendance commune envers la production de ressources primaires, plus particulièrement l'agriculture, l'exploitation forestière et l'exploitation minière, et elles n'ont que des secteurs manufacturiers de petite envergure en comparaison avec le reste du Canada. Le secteur des services représente la plus importante source d'emplois de la région et un élément de croissance majeur. Viennent ensuite le secteur du commerce, qui contribue pour environ 15 p. 100 au total des emplois, et le secteur des ressources primaires, avec seulement 11 p. 100 des emplois (voir la figure 7). Ce dernier secteur, en particulier l'agriculture, a été, par le passé, le principal employeur, mais les changements technologiques ont réduit la demande de main-d'œuvre.

Au Manitoba, la croissance de la population et de l'emploi a continué à augmenter au sein d'une économie diversifiée. En 2000, le secteur manufacturier a généré près de la moitié du PIB découlant des activités de toutes les industries de fabrication de biens. Le PIB du Manitoba a connu une croissance de 2,9 p. 100

en 2005, soit autant que celui de l'ensemble du Canada, et la croissance la plus prononcée depuis 2000. L'économie de la Saskatchewan montrait des signes prometteurs de diversification, bien que les secteurs de l'agriculture et des ressources y restent prédominants (Hirsch, 2005a). Les expéditions des industries manufacturières de cette province se sont accrues de 55 p. 100 au cours de la dernière décennie. L'économie y est axée sur les exportations, notamment les huiles de pétrole brutes, le chlorure de potassium, le blé de printemps, le blé dur et le canola. L'économie de l'Alberta a prospéré durant la dernière décennie, stimulée par les prix élevés du pétrole et du gaz naturel (Hirsch, 2005b). Parmi les autres secteurs économiques croissants de l'Alberta figurent l'industrie manufacturière, le domaine de la construction, les services et les finances publiques.

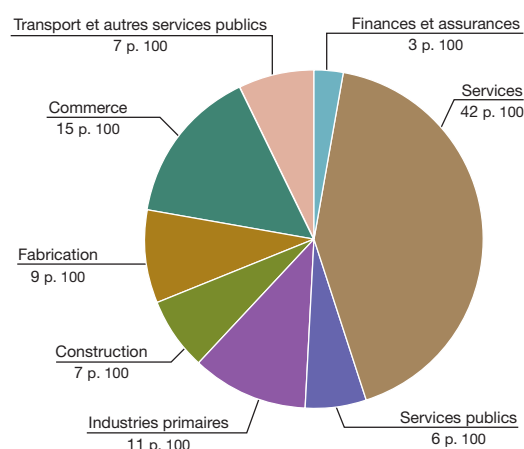


FIGURE 7 : Répartition des emplois dans les provinces des Prairies en 2001, par principaux groupes d'industrie (tiré de Statistique Canada, 2005d). Il est à noter que les industries primaires comprennent l'agriculture, les pêches, l'exploitation minière et l'industrie forestière.

TABLEAU 7 : Répartition du produit intérieur brut par type d'industrie en 2001 dans les provinces des Prairies (tiré de Statistique Canada, 2001a).

Type d'activité	Pourcentage du produit intérieur brut			
	Manitoba	Saskatchewan	Alberta	Prairies
Cultures et productions animales	3,5	3,9	1,4	2,1
Exploitation minière	1,8	17,9	26,5	21,5
Autres industries de production de produits primaires	0,3	0,4	0,2	0,3
Fabrication	13,6	7,9	9,1	9,6
Construction	4,6	5,9	7,5	6,8
Commerce	12,0	10,7	8,8	9,5
Services publics	14,1	11,2	9,2	10,0
Administration publique	18,8	17,4	10,2	12,6
Autres services	31,3	24,7	27,1	27,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

2.3 TENDANCES ET PROJECTIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES

Des évaluations récentes du changement climatique régional réalisées dans divers pays (p. ex., Holman *et al.*, 2005a; Schröter *et al.*, 2005) ont montré que les scénarios socio-économiques sont souvent plus importants que les scénarios climatiques en ce qui a trait à l'évaluation des répercussions, en particulier lorsqu'il s'agit de déterminer les impacts économiques et la capacité d'adaptation (voir le chapitre 2 pour une discussion sur la capacité d'adaptation). Toutefois, la prévision des tendances économiques et sociales est problématique pour une région qui dépend des marchés d'exportation et se révèle aussi hétérogène que les provinces des Prairies.

Des tendances démographiques ont été établies pour la région (Azmier, 2002; Sauvé, 2003; Statistique Canada, 2005e, f, g). D'ici 2031, la population des provinces des Prairies pourrait atteindre sept millions d'habitants – soit une hausse de près de 30 p. 100. Cette croissance prévue varie de moins de 3 p. 100 en Saskatchewan à presque 40 p. 100 en Alberta (voir le tableau 8). L'accroissement prévu chez les Autochtones, les minorités visibles et les aînés sont au cœur des changements démographiques attendus au cours des prochaines décennies (Statistique Canada, 2005e, g).

C'est en Alberta, avec son économie florissante fondée sur l'énergie, qu'à eu lieu presque tout l'accroissement de la population de la région au cours des 50 dernières années (tel qu'illustré à la figure 6), et cette tendance se poursuivra probablement durant les 30 prochaines années (basée sur les données présentées au tableau 8). Le Manitoba et la Saskatchewan devront relever les défis associés à la croissance des grandes villes aux dépens des populations rurales. Au Manitoba, l'accroissement de la population urbaine viendra principalement de l'immigration (Azmier, 2002); en Saskatchewan, il sera dû en majeure partie à la croissance des populations autochtones. Parmi les tendances nouvelles, on

observe des pénuries de travailleurs (Sauvé, 2003), problème que l'immigration serait en mesure d'atténuer quelque peu. Le changement survenu dans l'économie des Prairies au cours des dernières décennies a été suscité par les progrès des techniques d'exploitation des sables bitumineux, une amélioration de l'aménagement des forêts et de leur productivité, la croissance de l'industrie cinématographique, l'augmentation de la productivité agricole, l'adoption étendue des technologies informatiques, la consolidation de l'entreposage et de la production industrielle et l'augmentation du tourisme (Roach, 2005).

Selon ces tendances et prévisions, il est possible que les niveaux de vulnérabilité soient différents d'une province des Prairies à l'autre. On prévoit que la population et les richesses continueront d'être concentrées en Alberta, situation susceptible de laisser aux autres provinces relativement moins de ressources pour répondre à leurs besoins en matière d'adaptation. Les impacts du changement climatique se manifesteront de façon différente dans les régions et les secteurs en question, et agiront de concert avec une croissance économique inégale, ce qui suscitera des changements dans la population et constituera un fardeau plus lourd pour le tissu socio-économique de la région. La migration urbaine nuit à la viabilité des collectivités rurales, qui disposent ainsi de moins de ressources que les villes pour faire face au changement climatique et dépendent en outre davantage de ressources sensibles au climat, telles que l'agriculture et la foresterie.

2.4 CLIMAT DU PASSÉ

La plupart des enregistrements météorologiques relatifs aux provinces des Prairies couvrent une période inférieure à 110 ans. La perspective plus étendue que permettent les archives géologiques et biologiques fournit des informations sur la variabilité de basse fréquence (décennies ou davantage), sur les réactions graduelles au forçage climatique ainsi que sur un éventail de manifestations de la variabilité climatique plus étendu que celui

TABLEAU 8 : Croissance démographique prévue pour les provinces des Prairies et pour le Canada de 2005 à 2031 (*tiré de Statistique Canada, 2005b*).

Province / Région	Population (en milliers d'habitants) 2005	Population en 2031 (en milliers d'habitants)*					
		Faible croissance	Croissance moyenne (migration récente)	Croissance moyenne (migration moyenne)	Croissance moyenne (migration vers la côte ouest)	Croissance moyenne (migration vers le centre-ouest)	Croissance élevée
Manitoba	1 178	1 259	1 375	1 356	1 335	1 378	1 447
Saskatchewan	994	937	967	976	981	1 064	1 023
Alberta	3 257	3 925	4 391	4 145	3 892	4 543	4 403
Prairies	5 429	6 121	6 733	6 477	6 208	6 985	6 873
Canada	32 271	36 261	39 045	39 029	39 015	39 052	41 811
Prairies en pourcentage du Canada	17 p.100	17 p.100	17 p.100	17 p.100	16 p.100	18 p.100	16 p.100

qu'offrent les enregistrements climatologiques instrumentaux, et pourrait contribuer à la découverte éventuelle de climats passés analogues au climat futur. Dans les Prairies, les variations du climat se reflètent dans les changements subis par la végétation, dans les fluctuations du niveau et de la salinité des lacs, dans la configuration des anneaux de croissance des arbres (dendrochronologie) et dans l'âge et l'histoire des dunes (Lemmen et Vance, 1999). Les températures déduites à partir de trous de forage effectués dans les Plaines canadiennes (Majorowicz *et al.*, 2002) et des anneaux de croissance des arbres mesurés à des points élevés des Rocheuses (Luckman et Wilson, 2005) montrent que le climat le plus chaud du dernier millénaire a été enregistré au cours du XX^e siècle.

Les taux d'humidité dans le sol déduits à partir des anneaux de croissance des arbres et le taux de salinité déduit à partir des diatomées révèlent qu'au XX^e siècle le climat a été relativement favorable à la colonisation des prairies, car il ne comportait pas les sécheresses soutenues des siècles antérieurs, lesquelles influaient sur l'activité des dunes, le commerce des fourrures et la santé des populations autochtones (Sauchyn *et al.*, 2002a, 2003). La courte durée des sécheresses survenues depuis les années 1940 pourrait être davantage liée à une variabilité pluridécennale du climat qu'au changement climatique, dont on s'attend à ce qu'il entraînera une aridité accrue et des sécheresses plus fréquentes (Wetherald et Manabe, 1999; Kharin et Zwiers, 2000). Les données de haute résolution provenant des sédiments lacustres révèlent des changements pluricentennaux dans le régime d'humidité (Michels *et al.*, 2007), et les anneaux de croissance des arbres indiquent que l'ensemble de la région a connu des cycles pluridécennaux d'humidité et de sécheresse (St. George et Sauchyn, 2006; Watson et Luckman, 2006). Ces cycles naturels resteront sous-jacents à la tendance du changement climatique. Les enregistrements dendrochronologiques et d'archives provenant du Manitoba (Blair et Rannie, 1994; St. George et Nielsen, 2003; Rannie, 2006) ont mis en évidence le caractère récurrent des années humides et d'inondation ainsi qu'un contraste du climat entre l'ouest et l'est des Prairies.

On a enregistré une élévation moyenne de 1,6 °C au cours de la période des enregistrements instrumentaux effectués à 12 stations des Prairies, dont la plupart remontent jusqu'à 1895, (voir la figure 1). Le réchauffement le plus prononcé se manifeste au printemps, tendance qui s'étend du Manitoba jusqu'au nord de la Colombie-Britannique (Zhang *et al.*, 2000). Au cours des 50 dernières années, on a enregistré un réchauffement régional plus répandu, avec des tendances significatives en janvier, mars, avril et juin (Gan, 1998). Les données de précipitations révèlent une tendance générale à la baisse au cours des mois de novembre à février, tel que le démontrent les données mensuelles provenant de 37 stations dont 30 p. 100 ont enregistré une baisse importante au cours de la période de 1949 à 1989 (Gan, 1998). Une seule station parmi les 37 a enregistré une tendance à la hausse significative (Gan, 1998). Bien que le nombre de jours de précipitations se soit accru sur les Prairies canadiennes au cours des 75 dernières années (Akinremi *et al.*, 1999), la quantité totale de précipitations reçues durant plus de la moitié de ces journées était inférieure à 5 mm.

2.5 SCÉNARIOS DU CLIMAT À VENIR

Des scénarios climatiques ont été tirés d'expériences sur le changement climatique effectuées à l'aide de sept modèles de circulation générale (MCG) et du rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat *Special Report on Emissions Scenarios* (Nakićenović et Swart, 2000; voir le chapitre 2). Des cartes et des diagrammes de dispersion illustrent les scénarios de changement climatique modélisés à partir des années 1961 à 1990 jusqu'aux années 2020 (2010 à 2039), 2050 (2040 à 2069) et 2080 (2070 à 2099).

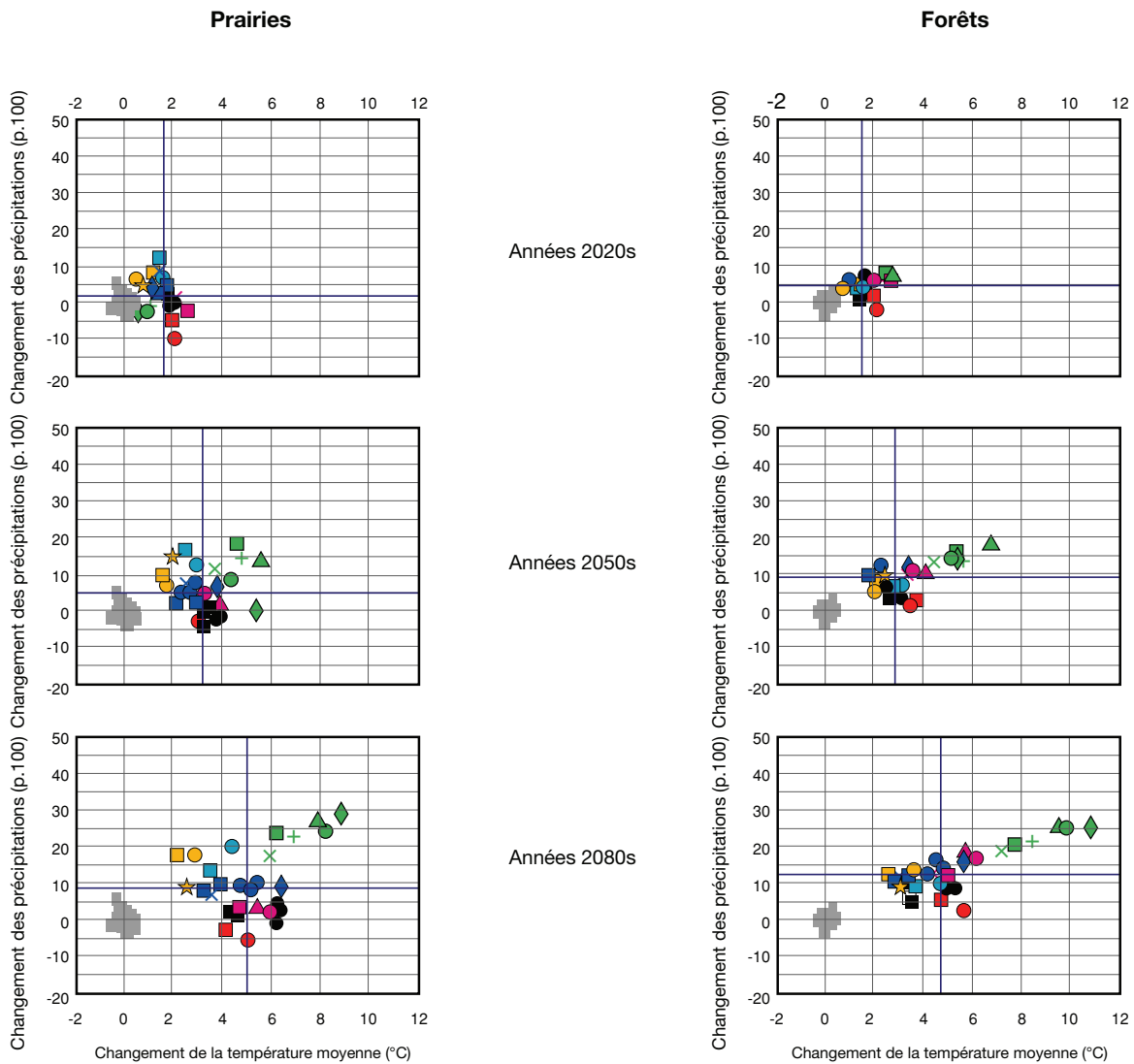
Diagrammes de dispersion

Les diagrammes de dispersion (voir l'annexe 1 du chapitre 2) établis pour les provinces des Prairies présentent les champs de changement moyennés sur deux régions : la zone de prairies, au sud, et la zone forestière, au nord. Les diagrammes montrent les changements modélisés de la précipitation et de la température annuelles moyennes (voir la figure 8a) et saisonnières (voir la figure 8b) dans la zone forestière et la zone de prairies pour les années 2020, 2050 et 2080.

À l'exception de quelques scénarios concernant les années 2020, tous les modèles ont prévu des climats qui sortent de la plage de la variabilité naturelle. Les scénarios de températures sont semblables dans le cas des régions forestières et de prairies, mais l'accroissement des précipitations est supérieur dans la zone forestière du nord. La dispersion des données augmente avec le temps, phénomène qui reflète le fait que la modélisation du changement climatique affiche plus d'incertitude à mesure que l'on progresse dans le XXI^e siècle. La majeure partie des hausses prévues des températures et des précipitations surviendront en hiver et au printemps, tant dans la zone forestière que dans celle des prairies.

Cartes des scénarios

Les cartes des scénarios présentent un résumé géographique des changements climatiques obtenus grâce aux MCG et illustrés par les diagrammes de dispersion (voir l'annexe 1 du chapitre 2). Les projections des changements minimums, moyennes et maximums des températures et des précipitations ont été inscrits sur la grille du deuxième modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG2). Les scénarios de températures sont représentés à la figure 9a sous forme de cartes pour les années 2020, 2050 et 2080, et par saison, à la figure 10a, pour les années 2050; les scénarios des précipitations correspondants sont illustrés aux figures 9b et 10b. Outre qu'elles illustrent les scénarios extrêmes et les contrastes saisonniers, les cartes montrent que le plus fort réchauffement prévu devrait se produire dans le nord et dans l'est. Ces régions devraient aussi connaître les plus fortes augmentations de précipitations, tandis que les scénarios minimums (soit du pire cas possible) laissent prévoir des hausses inférieures, voire des baisses de précipitations en été, pour les zones de l'ouest et du sud.



Légende	
Modèle de circulation générale	Scénario d'émissions
MCCG2	■ Variabilité naturelle du climat
MCCG2	◆
HadCM3	+
CCSRNIES	▲
CSIROMk2	★
ECHAM4	●
NCARPCM	×
GFDL-R30	■
	A1FI
	A1T
	A1
	A1B
	A2
	B1
	B2

FIGURE 8a : Diagrammes de dispersion des changements prévus dans les régions de forêts et de prairies des provinces des Prairies pour les années 2020, 2050 et 2080 par rapport aux températures et précipitations annuelles moyennes. Les carrés gris indiquent la variabilité climatique « naturelle » simulée par une longue passe de contrôle du modèle couplé canadien sans changement du canadien de circulation générale (MCCG2), sans changement du forçage avec le temps. Les lignes bleues indiquent les changements moyens des températures et des précipitations moyennes, tels qu'établi à l'aide de la série de scénarios présentés sur le graphique.

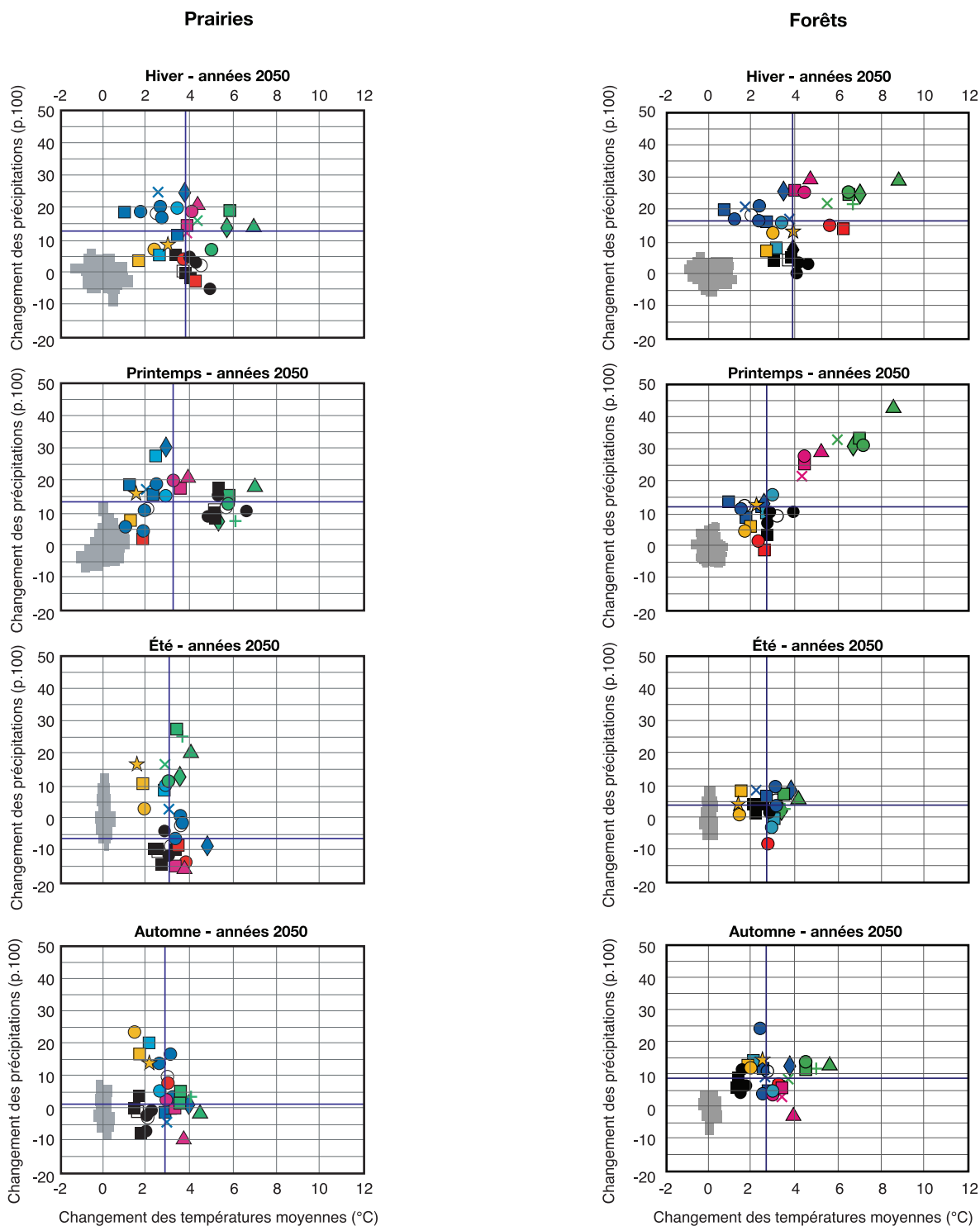


FIGURE 8b : Diagrammes de dispersion des changements prévus dans les régions de forêts et de prairies des provinces des Prairies pour les années 2050 par rapport aux températures et précipitations saisonnières annuelles. Les carrés gris indiquent la variabilité climatique « naturelle » simulée par une longue passe de contrôle du modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG2), sans changement du forçage avec le temps. Les lignes bleues indiquent les changements moyens des températures et des précipitations moyennes, tels qu'établi à l'aide de la série de scénarios présentés sur le graphique.

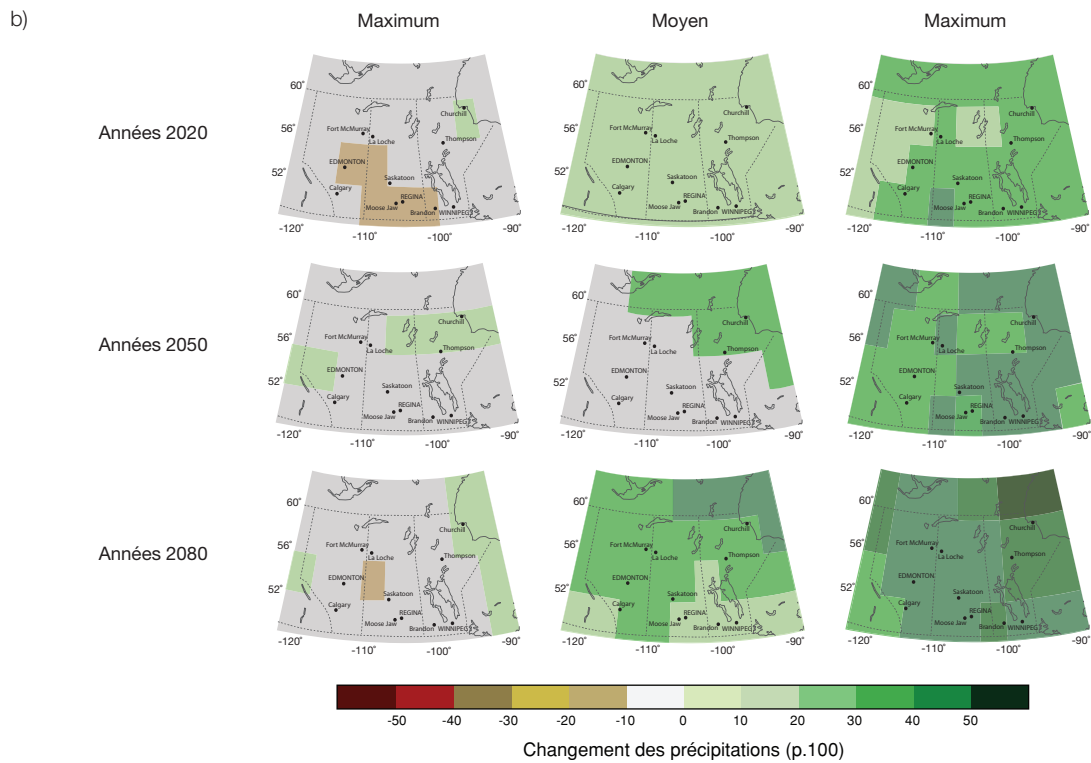
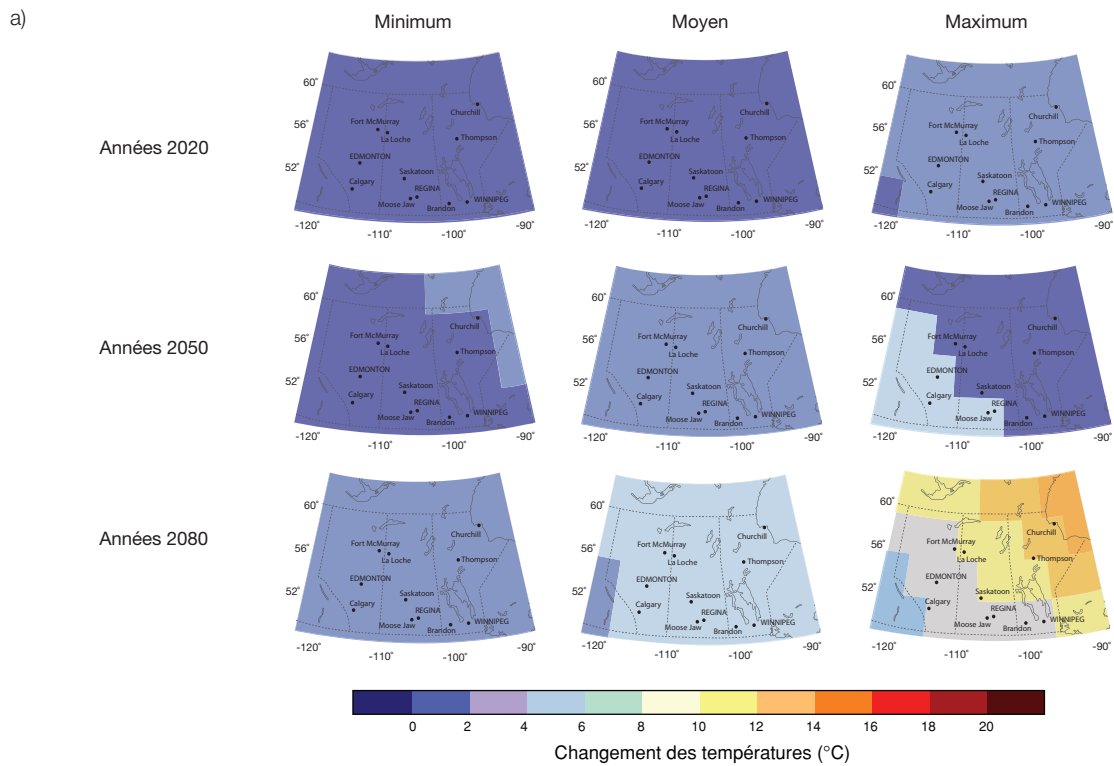


FIGURE 9 : Cartes des scénario de changement climatique pour les provinces des Prairies pour les années 2020, 2050 et 2080 indiquant les changements minimums, moyens et maximums prévus a) des températures annuelles moyennes et b) des précipitations annuelles moyennes. Il est à noter que les changements minimum et maximum correspondent respectivement au scénario le plus humide et le scénario le plus sec (voir l'annexe 1 au chapitre 2).

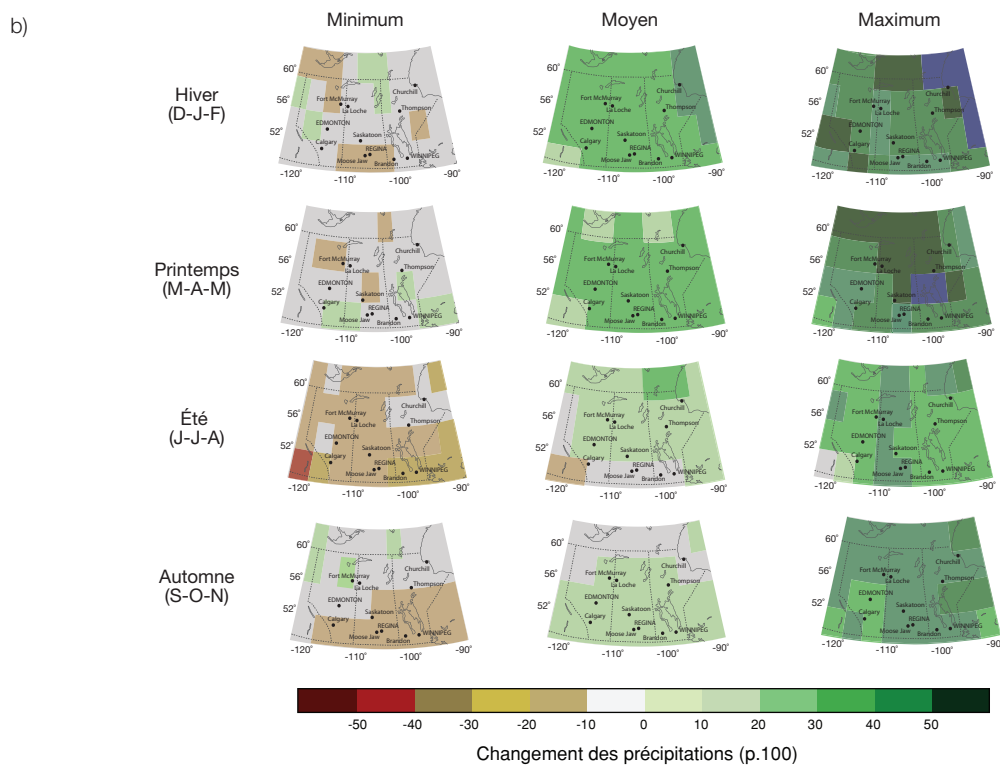
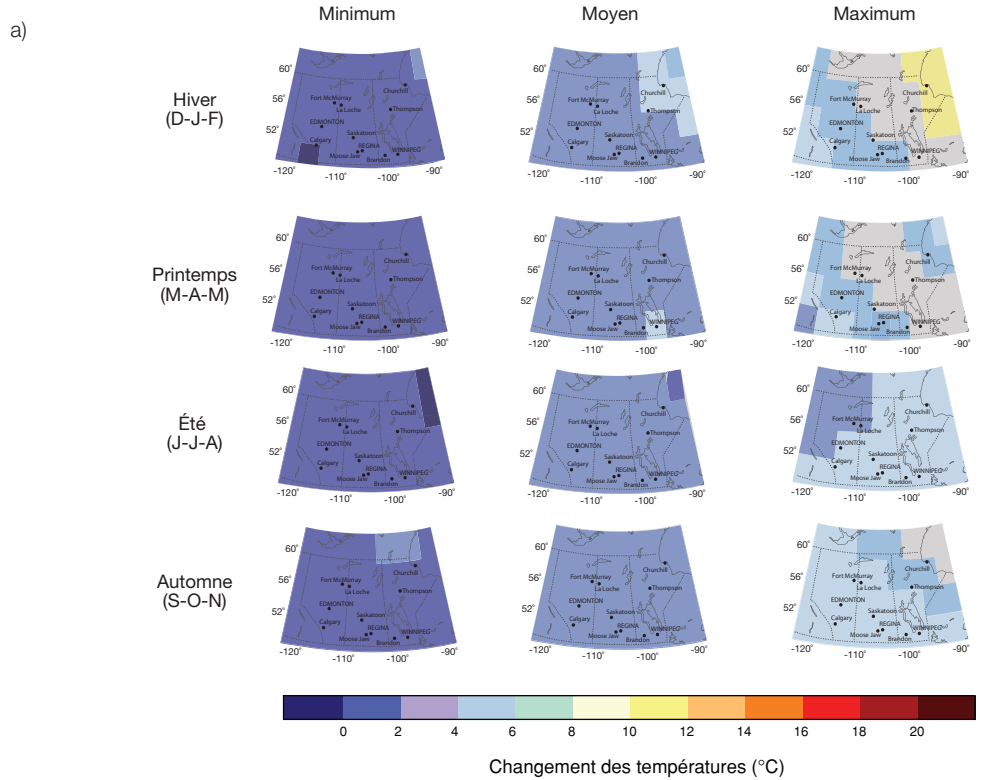


FIGURE 10 : Cartes des scénario de changement climatique pour les provinces des Prairies pour les années 2050 indiquant les changements minimums, moyens et maximums prévus a) des températures saisonnières moyennes et b) des précipitations saisonnières moyennes. Les lettres majuscules entre parenthèses apparaissant à la suite des saisons indiquent les mois en question. Il est à noter que les changements minimum et maximum correspondent respectivement au scénario le plus humide et le scénario le plus sec (voir l'annexe 1 au chapitre 2).

3 SENSIBILITÉS ET PRINCIPALES VULNÉRABILITÉS : CAPITAL NATUREL

3.1 RESSOURCES EN EAU

Le changement climatique est et continuera d'être reflété dans les principales variables qui régissent le cycle hydrologique : la température, l'évapotranspiration, les précipitations, la neige et la glace. La santé du milieu et les richesses naturelles des provinces des Prairies sont étroitement liées à la qualité et à la quantité des ressources en eau. Ces facteurs influent sur presque tous les aspects de la société : la santé et le bien-être, l'agriculture, la production d'aliments et la vie rurale, les villes et les infrastructures, la production et le coût de l'énergie, l'industrie forestière, les loisirs et d'autres secteurs. Certains des plus importants stress subis par la société dans les Prairies ont été directement liés à des extrêmes d'éléments hydrologiques du système.

Ressources en eau de surface

Les changements du régime de précipitations, de la température et de la durée de l'hiver auront des répercussions considérables sur les approvisionnements en eau de surface. Le réchauffement hivernal réduira les accumulations de neige dans les zones alpines (Leung et Ghan, 1999; Lapp *et al.*, 2005) et l'ensemble des Prairies. Ce réchauffement entraînera ainsi une diminution de l'écoulement fluvial annuel et avancera de façon remarquable le moment de survenue de cet écoulement durant l'année, phénomène qui se traduira par une diminution des apports en eau vers la fin de la saison. Le ruissellement des petits cours d'eau des prairies et des forêts-parcs provient presque exclusivement de la fonte de la neige accumulée sur les sols gelés (Byrne, 1989). La réduction des chutes de neige en hiver enregistrée durant la seconde moitié du XX^e siècle (Akinremi *et al.*, 1999) a contribué à la tendance à la baisse du débit que l'on a constatée. Il s'agit déjà d'un problème crucial pour de nombreuses rivières du sud des Prairies, telles que les rivières Bow, Oldman et Milk, particulièrement au cours des années sèches.

L'écoulement fluvial moyen mensuel relevé par 50 débitmètres dans les Prairies a affiché des tendances à la hausse en mars et des tendances à la baisse en automne au cours de la période s'étendant entre la fin des années 1940 et le début des années 1950 et en 1993 (Gan, 1998). La hausse des débits constatée en mars peut être attribuée à la fois à une augmentation des précipitations printanières sous forme de pluie et à une fonte des neiges précoce (Burn, 1994; Gan, 1998; Zhang *et al.*, 2001; Yue *et al.*, 2003). Burn (1994) a trouvé que 30 p. 100 des rivières non régularisées de l'ouest du Canada présentaient une tendance à un écoulement printanier précoce statistiquement significative vers les années 1990, les écoulements précoces les plus importants se manifestant dans les rivières situées à de plus hautes latitudes.

Le recul général des glaciers qui s'est produit au cours du dernier siècle a entraîné une diminution appréciable de l'écoulement estival et automnal; cet écoulement a eu un effet sur les rivières durant la période des débits d'étiage et de demande en eau maximale (Demuth et Pietroniro, 2003). La poursuite de ce recul accentuera les pénuries déjà manifestes au cours des années de sécheresse dans de nombreuses régions de l'Alberta et de la Saskatchewan. Demuth et Pietroniro (2003, p. iv) ont conclu que :

« La fiabilité de l'écoulement provenant des bassins du cours supérieur de la rivière Saskatchewan-Nord a diminué depuis le milieu des années 1990, et les régimes hydrologiques et écologiques qui dépendent du moment de survenue et de la quantité d'eau provenant de la fonte des glaciers subissent peut-être déjà les répercussions à moyen et à long termes du changement climatique discutées par le GIEC. » [traduction]

Puisque les eaux du cours supérieur de la rivière Saskatchewan-Nord se situent à proximité de celles des systèmes des rivières Athabasca et Bow, les trois systèmes subissent probablement en ce moment les mêmes changements de débit et continueront à le faire dans l'avenir.

La plupart des scénarios prévoient des débits plus forts en hiver et au printemps, avec des précipitations plus abondantes, en particulier sous forme de pluie. Ils prévoient en outre, dans l'ensemble, des réductions de débit en été, saison où la demande d'eau de surface est la plus forte. Pietroniro *et al.* (2006) ont combiné des modèles hydrologiques avec des scénarios de changement climatique pour estimer certains changements annuels moyens des débits qui surviendront d'ici les années 2050 :

- Rivière Red Deer, à Bindloss : -13 p. 100
- Rivière Bow, à l'embouchure : -10 p. 100
- Rivière Oldman, à l'embouchure : -4 p. 100
- Rivière Saskatchewan-Sud, au lac Diefenbaker : -8,5 p. 100.

Ressources en eau souterraine

L'eau souterraine constitue la source d'eau potable pour environ 21 p. 100 des habitants du Manitoba, 23 p. 100 des Albertains et près de 43 p. 100 de la population de la Saskatchewan (Environnement Canada, 2004b). Les approvisionnements futurs en eau souterraine diminueront dans certaines régions, mais pourront augmenter dans d'autres, reflétant l'équilibre dynamique entre le taux d'alimentation, le ruissellement et le stockage de l'eau souterraine (Maathuis et Thorleifson, 2000; Chen *et al.*, 2002). L'augmentation des pluies au début du printemps et à la fin de l'automne améliorera le taux d'alimentation si les niveaux de l'eau dans le sol sont élevés; sinon, l'eau sera retenue dans le sol, de telle façon que l'écosystème et la productivité des récoltes puissent en bénéficier. L'assèchement des sols dû à l'augmentation du taux d'évapotranspiration entraîne une diminution du taux d'alimentation, à laquelle succéderait un abaissement lent mais régulier de la nappe phréatique dans de nombreuses régions. Lorsque les niveaux de l'eau souterraine baissent en raison d'un taux d'alimentation insuffisant, d'une sécheresse prolongée ou d'un pompage excessif, l'approvisionnement en eau et sa qualité s'en trouvent touchés. Cette situation s'est produite dans le centre de l'Alberta au cours de la sécheresse de 2001 à 2003, soit la sécheresse de longue durée la plus intense qui ait jamais été notée depuis que l'on a commencé à prendre des enregistrements (Kienzle, 2006). Une chute des niveaux de l'eau souterraine dans un aquifère carbonaté situé près de Winnipeg pourrait entraîner la salinisation

des puits et le déplacement vers l'est de la limite entre l'eau saline et l'eau douce en réaction au changement climatique (Chen *et al.*, 2002).

Demande d'eau

Les augmentations de la demande en eau rendront plus complexes les problèmes d'approvisionnement en cette ressource. L'importance de cette demande possible est clairement illustrée par les estimations suivantes, qui concernent le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud (Alberta Environment, 2002, 2005, 2006) :

- La demande pour les activités autres que l'irrigation pourrait s'accroître de 35 p. 100 à 67 p. 100 d'ici 2021, et de 52 p. 100 à 136 p. 100 d'ici 2046.
- Il est possible que les districts d'irrigation subissent une expansion allant jusqu'à 10 p. 100 dans le bassin de la rivière Oldman et 20 p. 100 dans celui de la rivière Bow.
- On s'attend à ce que la population s'accroisse dans le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud, passant de 1,3 million d'habitants en 1996 à plus de deux millions d'ici 2021, et à plus de trois millions d'ici 2046.
- Environ 65 p. 100 du débit moyen naturel de la rivière Oldman et de ses tributaires ont été attribués (Government of Alberta, 2006). De ces attributions, presque 90 p. 100 sont consacrées à la culture irriguée. On n'attribue plus, en Alberta, de nouveaux permis d'utilisation de l'eau dans les bassins des rivières Oldman et Bow et, ainsi, tout accroissement doit se faire en fonction d'attributions déjà en place.

Qualité de l'eau

Dans les provinces des Prairies, les écosystèmes aquatiques et les ressources en eau font face à diverses menaces en ce qui a trait à la qualité de l'eau, lesquelles se trouveront aggravées par le changement climatique. Il s'agit entre autres (Environnement Canada, 2001) :

- des perturbations physiques associées : 1) aux répercussions dues à l'utilisation des terres aux fins d'agriculture et d'exploitation forestière, 2) aux prélèvements d'eau par les villes, 3) aux effluents d'eaux usées et aux eaux pluviales et 4) aux effets des barrages et des dérivations;
- de la contamination chimique, notamment : 1) les polluants organiques persistants et le mercure, 2) les perturbateurs endocriniens, 3) les éléments nutritifs (azote et phosphore), 4) les écoulements urbains et les effluents d'eaux usées municipales et 5) l'acidification;
- de la contamination biologique, notamment par les pathogènes d'origine hydrique.

La réduction de l'écoulement fluvial due au réchauffement climatique aggravera ces répercussions. La capacité de dilution chutera probablement à mesure que les débits décroîtront et que la durée de séjour dans les lacs augmentera en conséquence. Les sécheresses pourraient entraîner une augmentation de l'érosion accrue des sols, tant sur les terres agricoles que dans les zones forestières incendiées. Cette érosion augmentera les charges de sédiments et d'éléments nutritifs dans les réseaux hydrographiques locaux, ce qui entraînera l'eutrophisation des plans d'eau et un accroissement de la charge en pathogènes des cours d'eau en été (Hyland *et al.*, 2003; Johnson *et al.*,

2003; Little *et al.*, 2003). Le Millenium Ecosystem Assessment (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire; Millenium Ecosystem Assessment, 2005) a déterminé que les effets conjoints du changement climatique et de la suraccumulation d'éléments nutritifs constituaient la principale menace pour les agroécosystèmes en régime d'aridoculture. Il existe une corrélation entre l'envergure des proliférations massives d'algues dans le lac Winnipeg et des températures estivales plus élevées (McCullough, 2006). Or, puisque le bassin du lac Winnipeg englobe une grande partie de l'écozone des Prairies, le lac reçoit les eaux de ruissellement d'une large proportion des terres agricoles du Canada.

Répercussions des phénomènes hydrologiques extrêmes

Selon les quelques études qui ont porté sur les résultats des MCG prévoyant les valeurs extrêmes associées au climat futur (p. ex., Kharin et Zwiers, 2000), la probabilité des phénomènes extrêmes s'accroîtrait, notamment celle des inondations et des sécheresses graves. Les conditions tant récentes que préhistoriques de la zone intérieure de l'Ouest sembleraient également appuyer cette tendance à la hausse de la gravité des sécheresses. Récemment (depuis les années 1940), le climat a été caractérisé par des sécheresses graves (forts déficits en eau) et de durée relativement courte, par comparaison aux siècles précédents (*voir* la section 2.4; Sauchyn *et al.*, 2003). Les cycles climatiques naturels à la base du changement climatique comprennent des sécheresses beaucoup plus longues que celles du XX^e siècle (*voir* la section 2.4).

Dans les zones de forêt boréale et de taïga, la fréquence accrue des sécheresses, y compris des sécheresses pluriannuelles persistantes (Sauchyn *et al.*, 2003), entraînera une diminution du taux d'humidité du sol et une augmentation de l'étendue des incendies de forêt et de la superficie nette brûlée. Au cours des récentes sécheresses extrêmes, les sols organiques ont séché et brûlé avec les forêts, ce qui s'est traduit par une perte presque totale de la végétation et du couvert forestier et, ensuite, par une perte de la capacité du sol de stocker l'eau à ces endroits. Dans ces conditions, le ruissellement devient instantané et cause des inondations éclairs.

L'élévation des températures annuelles et saisonnières aggravera les conditions de sécheresse (Laprise *et al.*, 2003) mais, d'autre part, le réchauffement fait augmenter la probabilité d'épisodes de pluies extrêmes (Groisman *et al.*, 2005). Ces épisodes causent fréquemment des inondations locales ou régionales, à l'instar de celles qu'a subies le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud en 1995 et en 2004. Ces événements, ainsi que d'autres inondations et sécheresses récentes énumérées ci-après, illustrent bien l'importance d'une gestion appropriée des ressources en eau, importance qui, d'ailleurs, devrait augmenter dans les années à venir :

- À Edmonton, un orage a déversé 150 mm de pluie en moins d'une heure sur la ville déjà saturée par des orages antérieurs. Les pertes ont été estimées à 175 millions de dollars (Environnement Canada, 2004a).
- Les enregistrements réalisés à l'aide d'instruments indiquent que, lors de la récente sécheresse soutenue de 2000-2003, on a constaté des précipitations totales très inférieures à celles qui avaient été enregistrées au milieu des années 1930 (Kienzle, 2006). Les sécheresses pluriannuelles sont à l'origine des plus sérieuses répercussions qui touchent aussi bien le niveau d'humidité du sol que le niveau d'eau souterraine.

- Environnement Canada (2004a) a qualifié la campagne agricole de 2002 de pire jamais connue par les agriculteurs de l'Ouest canadien.
- En 2001, le projet d'irrigation à partir de la rivière St. Mary, dans le sud de l'Alberta, n'a pas bénéficié de suffisamment d'eau pour honorer les attributions annuelles – seulement 60 p. 100 des attributions en eau des fermes ont été distribués.

Adaptation

L'adaptation aux changements de l'hydrologie dans les Prairies posera un défi, particulièrement là où les approvisionnements en eau actuels sont presque complètement assignés. La rareté future de l'eau pourrait causer l'abandon ou la sous-utilisation d'infrastructures importantes (canaux, canalisations, barrages et réservoirs) qui valent des millions de dollars. La croissance de la demande à cause du réchauffement du climat et la réduction de l'écoulement estival certaines années se traduiront par des demandes visant à augmenter le stockage et la dérivation de l'eau à partir des endroits qui accusent des surplus. Cependant, les réservoirs sont des sources de gaz à effet de serre (St. Louis *et al.*, 2000) et les barrages et ouvrages de dérivation sont responsables de répercussions environnementales bien documentées (Environnement Canada, 2001; Mailman *et al.*, 2006). On trouvera également une discussion de la capacité d'adaptation du secteur des ressources en eau à la section 5.1.1.

3.2 ÉCOSYSTÈMES

Dans le cadre d'une analyse globale, le changement climatique n'est dépassé en importance que par l'utilisation des terres en tant que facteur susceptible d'entraîner des changements de la biodiversité au cours du siècle en cours (Sala *et al.*, 2000). Le changement climatique modifiera les conditions environnementales à l'avantage de certaines espèces et au détriment d'autres, souvent avec des retombées économiques. Par exemple, à mesure que la végétation et les insectes changeront en réaction à l'évolution du climat, les activités de tourisme et de loisir, telles que l'observation des oiseaux, s'en trouveront touchées, et il faudra peut-être procéder à un ajustement des pratiques de gestion antiparasitaire à caractère agricole, forestier et urbain.

Biodiversité et productivité

Si aucune contrainte liée au taux d'humidité ou à d'autres facteurs ne se manifeste, la productivité des végétaux devrait augmenter, favorisée par l'allongement de la saison de croissance et par la hausse des températures. L'accroissement de l'activité photosynthétique enregistrée dans la majeure partie du Canada de 1981 à 1991 a été attribué aux saisons de croissance plus longues (Myneni *et al.*, 1997). Cependant, on détient peu de connaissances en ce qui a trait aux espèces ou assemblages d'espèces qui seront relativement avantagés ou désavantagés dans des écosystèmes disposant de moins en moins d'humidité. Les changements touchant le moment de survenue et l'intensité des épisodes de gel-dégel, les variations des températures diurnes (Gitay *et al.*, 2001) ainsi que les épisodes de tempêtes et de vents peuvent influencer sur la répartition ou la survie de la végétation, en particulier celles des diverses espèces d'arbres (Macdonald *et al.*, 1998), mais on manque de précisions quant à la façon dont cela va se produire.

Des facteurs autres que la température et les précipitations influenceront aussi sur les écosystèmes des Prairies. Par exemple, la fertilisation par le CO₂ accroît l'efficacité d'utilisation de l'eau par certaines espèces de végétaux (Lemon, 1983), bien qu'il subsiste de nombreux doutes quant à son effet global (Wheaton, 1997). Alors que des études ont signalé un effet positif de la fertilisation par le CO₂ sur la croissance de l'épinette blanche dans le sud-ouest du Manitoba (Wang *et al.*, 2006), des données obtenues par modélisation et à la suite d'une étude empirique (Gracia *et al.*, 2001) ont révélé que tout effet positif de la fertilisation par le CO₂ est neutralisé au sein d'un peuplement de conifères, parce que la croissance de ces derniers est sujette au taux d'humidité disponible. Il n'est pas encore possible de prévoir de façon globale les changements s'opérant au niveau de l'absorption et de l'accumulation du CO₂ selon une méthode qui serait indépendante des variations entre les espèces (Gitay *et al.*, 2001). L'un des problèmes majeurs associé à la prévision des répercussions de la fertilisation par le CO₂ sur une espèce donnée est que ces impacts s'exercent simultanément sur toute la végétation. Il ne suffit pas de connaître la réaction d'une espèce au CO₂, il faut plutôt connaître l'avantage relatif pour la croissance, s'il y en a un, acquis par toutes les espèces végétales qui sont en compétition pour les ressources d'un endroit donné.

Les niveaux de rayonnement ultraviolet-B et d'ozone troposphérique vont en augmentant, et l'on s'attend à ce qu'ils aient des effets désavantageux sur la végétation, voire à ce qu'ils annulent tout effet positif de la fertilisation par le CO₂ (Henderson *et al.*, 2002). En outre, les dépôts d'azote provenant de l'activité industrielle ont peut-être un effet sur la croissance des espèces et les interactions compétitives entre les espèces, même dans des endroits des Prairies qui se trouvent éloignés des centres industriels (Kochy et Wilson, 2001).

La transformation des régimes de perturbation des forêts qu'entraîne le changement climatique peut s'avérer suffisamment importante pour causer la modification des écosystèmes forestiers en place (Loehle et LeBlanc, 1996). Henderson *et al.* (2002) mentionnent deux voies de changement des forêts : 1) un déclin lent et cumulatif, ou 2) des pertes catastrophiques, comme celles causées par un incendie majeur. Les hausses des températures moyennes en hiver se traduiront par une meilleure survie des agents pathogènes pendant cette saison et par une augmentation de la gravité des maladies (Harvell *et al.*, 2002). Les sécheresses affaiblissent les défenses des arbres contre les agents pathogènes plus virulents (Saporta *et al.*, 1998). À mesure que les conditions deviendront plus xériques, la durée de vie des aiguilles de conifères raccourcira et, ainsi, le niveau de stress ressenti par ces derniers augmentera (Gracia *et al.*, 2002). On s'attend à ce que la forêt boréale soit touchée de façon importante par le changement climatique, plus particulièrement à sa limite sud (Herrington *et al.*, 1997; Henderson *et al.*, 2002; Carr *et al.*, 2004). Grâce à la modélisation des répercussions, on prévoit que, d'ici 2080, la forêt boréale de la Saskatchewan connaîtra des changements majeurs dans la représentation des espèces (selon le MCCG1 et le scénario d'émissions A1; Carr *et al.*, 2004).

Changements dans le moment de survenue des phénomènes biologiques

Les premiers colons et les peuples autochtones savaient que le moment où survenaient les phénomènes biologiques dépendait des saisons et des conditions météorologiques, et ils utilisaient ces signes indicateurs pour prévoir le moment et le succès des activités de plantation, de pêche et de chasse (Lantz et Turner, 2004). Les dates

et les taux de la floraison printanière de plantes sauvages très répandues font partie des événements les plus fiables que l'on puisse surveiller et utiliser comme indices des conditions météorologiques et du climat. Un programme baptisé « Plantwatch » a pour but de surveiller la phénologie de la floraison de plantes sauvages clés grâce aux rapports d'un réseau de bénévoles; ce programme est devenu un outil important de suivi des répercussions du changement climatique (Beaubien, 1997). Les dates de floraison de plantes vivaces clés de l'Alberta sont étroitement associées à la température moyenne enregistrée au cours des deux mois précédant l'efflorescence (Beaubien et Freeland, 2000). Au cours du dernier siècle, le début du printemps a déjà avancé de 26 jours par rapport au début du printemps enregistré antérieurement (Beaubien et Freeland, 2000). On a déterminé que l'indice de floraison printanière établi à partir des données du programme « Plantwatch » était corrélé aux températures de la surface de la mer dans le Pacifique, y compris aux épisodes El Niño.

Réaction des zones de végétation

Les modèles de zonation de la végétation ont établi que le changement climatique a entraîné une migration vers le nord de la limite entre la forêt et la prairie dans les provinces des Prairies (Hogg et Hurdle, 1995; Vandall *et al.*, 2006). On prévoit également que les prairies évolueront, les tremblais et les prairies à fétuque de la bordure nord actuelle cédant la place à des variantes de la prairie mixte. Ces changements modélisés de la zonation ne précisent pas la composition future exacte de la végétation, en raison des retards dans la migration de certaines espèces. Cependant, les tendances suivantes sont prévues pour la période du moment actuel aux années 2050 (Vandall *et al.*, 2006) :

- Dans les régions forestières, on remarquera une réduction générale de la croissance des arbres, l'échec de la régénération au cours des années sèches, et une réduction graduelle du couvert forestier et une expansion des îlots de prairies.
- Dans la tremblaie, on remarquera une diminution de la taille des bosquets de trembles, une réduction de l'invasion des îlots de prairies par les arbustes et les pousses de peupliers et un rétrécissement du couvert arbustif.

On peut s'attendre à ce que les répercussions les plus importantes surviennent dans les zones de transition entre les prairies sèches et les prairies des contreforts, plus humides, ainsi qu'à la transition entre les forêts-parcs et les zones forestières.

Dans les prairies, la production est fonction du taux d'humidité disponible. Alors que le climat plus doux et plus sec prévu pour les provinces des Prairies semble indiquer une production et une capacité de pâturage à la baisse, il est probable que les changements réels seront modestes, étant donné l'allongement de la saison de croissance, la réduction de la compétition de la part des arbustes et des arbres, et l'augmentation de la quantité de graminées de saisons chaudes, ces dernières étant reconnues pour leur utilisation plus efficace de l'eau (Thorpe *et al.*, 2004).

Les modèles de prévision des répercussions qui tiennent compte simplement de la position actuelle (statique) des écorégions (p. ex., Davis et Zabinski, 1992) prévoient des changements importants de la superficie et de la qualité des forêts boréales. D'autres modèles, basés sur la croissance des végétaux et la dynamique des populations, donneraient des prévisions plus robustes. Les extrémités nord de la forêt boréale remonteraient probablement avec

le réchauffement climatique, mais le taux d'expansion de la forêt vers le nord est incertain; cette expansion prendra des décennies, car les arbres réagissent aux variations de la température du sol, à la présence de pergélisol ainsi qu'à la dispersion et à l'établissement incertains des graines (Lloyd, 2005). Il est probable qu'un changement connexe aura lieu à la limite sud de la forêt, mais il serait régi par l'effet des sécheresses et des grands incendies qui leur sont associés.

Il est difficile d'estimer le moment où surviendront ces changements écologiques, en partie en raison de l'incapacité actuelle à prévoir des seuils précis. La végétation réagit après qu'un changement climatique a eu lieu (adaptation autonome), et il est naturel pour un écosystème d'être « en retard » jusqu'à un certain point par rapport aux conditions environnementales, un phénomène que l'on qualifie d'« inertie écologique » (voir Henderson *et al.*, 2002). On trouve dans Anderson *et al.* (1997) une mise en garde au sujet des écosystèmes qui, selon eux, peuvent absorber des stress pendant de longues périodes avant de franchir un seuil critique, après quoi, la modification des écosystèmes et des paysages peut se faire très rapidement. Il est probable que l'effet du changement climatique sur les arbres matures ne sera pas décelable avant que des seuils biologiques ne soient atteints et qu'il en résulte un dessèchement des rameaux (Saporta *et al.*, 1998).

Le changement climatique sera important dans tous les parcs nationaux de prairies et de forêts-parcs (Elk Island, en Alberta, Prince-Albert, en Saskatchewan et Mont-Riding, au Manitoba) ainsi que dans le parc national Wood Buffalo, dans les Territoires-du-Nord-Ouest (Scott et Suffling, 2000). Dans ces parcs, on peut s'attendre à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des feux de forêt, à un accroissement des épidémies de maladies des arbres forestiers et des infestations d'insectes, ainsi qu'à une augmentation de la surface couverte par les prairies et les forêts tempérées au détriment de la forêt boréale (de Groot *et al.*, 2002). Le changement climatique constitue « un défi sans précédent pour Parcs Canada », et les communautés écologiques actuelles commenceront à se dissocier et à former de nouveaux assemblages (Scott et Suffling, 2000). Henderson *et al.* (2002, p. 3) ont déclaré que, pour relever ce défi dans « un contexte de changement climatique mondial, il faudra peut-être, dans le choix des secteurs protégés, mettre l'accent sur l'hétérogénéité et la diversité des habitats des sites (car ils offrent une sorte de tampon contre les effets du changement climatique) plutôt que sur leur représentativité » (traduction). Par exemple, on peut toujours s'attendre à ce que les terrains élevés, tels que les paysages des monts Cypress, offrent une gamme d'habitats et d'écosystèmes différents des plaines avoisinantes et, donc, contribuent à la biodiversité, même si la nature de ces habitats et écosystèmes change avec le temps (voir l'étude de cas 1). Toutefois, un paysage de faible relief, comme celui du parc national de Prince-Albert, dont le but est de protéger la prairie à fétuque, la tremblaie et la forêt boréale du sud dans le réseau des parcs nationaux, ne réussira peut-être pas à protéger ces éléments de paysage avec le temps, tout comme le parc national de Wapusk, au Manitoba, ne parviendra peut-être pas à protéger l'habitat de lours blanc, ce qui est pourtant sa raison d'être.

Faune sauvage

La région de fondrières des prairies du centre de l'Amérique du Nord constitue l'habitat le plus productif du monde pour les oiseaux aquatiques, les Prairies canadiennes englobant les aires de reproduction de 50 p. 100 à 80 p. 100 de la population canadienne

de canards (Clair *et al.*, 1998). Une augmentation de l'aridité dans les prairies aura probablement un effet néfaste sur les populations migratrices d'oiseaux aquatiques (Poiani et Johnson, 1993) dont l'effectif diminuera en réaction aux sécheresses et aux pertes d'habitats (Bethke et Nudds, 1995). Les fluctuations des conditions météorologiques qui ont lieu durant la saison de reproduction comptent pour plus de 80 p. 100 dans la variation du taux de croissance des populations de colverts et d'autres canards (Hoekman *et al.*, 2002). Dans les régions nordiques, la disparition précoce de la neige et la hausse des températures moyennes ont rendu la nidification et l'éclosion des oies plus précoces (p. ex., LaRoe et Rusch, 1995).

Les habitudes migratoires et la taille des populations de faune sauvage ont été touchées par les récentes tendances du climat, et l'on s'attend à d'autres répercussions (Inkley *et al.*, 2004). Cet état de choses influera sur les industries fondées sur la chasse, les activités

environnementales, la réglementation de la pêche et la production de poissons, et sur les modes de vie traditionnels tributaires de la biodiversité des vertébrés. Les animaux relativement sédentaires, comme les reptiles et les amphibiens, courent un plus grand risque de disparition que les oiseaux ou les papillons, comparativement mobiles. Les écosystèmes aquatiques subiront le stress de conditions plus chaudes et plus sèches, et un grand nombre d'espèces aquatiques des prairies courent le risque de disparaître (James *et al.*, 2001). De nombreuses espèces de poissons, par exemple, sont sensibles à de petits changements des régimes de température, de turbidité et de salinité ou à des concentrations d'oxygène. Pour les Prairies, on s'attend à des proliférations d'algues plus prononcées, à une eutrophisation accélérée et à des répercussions graves sur certaines espèces de poissons en raison de la combinaison des effets du changement climatique, de l'accroissement du lessivage des éléments nutritifs et des pressions dues à l'utilisation accrue des

ÉTUDE DE CAS 1

Répercussions du changement climatique sur les îlots de forêt des grandes plaines

On trouve, des plaines du centre de l'Alberta jusqu'au Texas, des îlots parsemés de forêts, refuges d'arbres et d'espèces dépendantes des arbres dans une mer de graminées. Henderson *et al.* (2002) ont examiné les répercussions que le changement climatique aura sur cinq de ces écosystèmes du sud des provinces des Prairies et des États adjacents du Dakota du Nord et du Montana : les monts Cypress, la forêt Spruce, les collines Turtle, le mont Moose et les collines Sweet Grass (voir la figure 11). Ces îlots de forêt ont une importance régionale considérable en termes de biodiversité, d'habitats de la faune, de pâturages et de sources de bois, et en tant que cours supérieurs de nombreuses rivières des prairies.

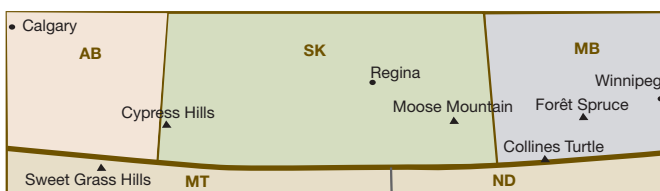


FIGURE 11 : Emplacement des sites d'étude des îlots de forêt.

Le changement climatique pose un risque pour les îlots de forêt des plaines. Ces derniers sont des écosystèmes marginaux ou écotones, à la limite entre les écosystèmes des prairies et les écosystèmes forestiers; ils sont, par conséquent, sensibles à de faibles changements dans les conditions environnementales. Comme il s'agit d'écosystèmes relativement petits, les îlots de forêt peuvent présenter une diversité génétique réduite et une vulnérabilité accrue aux perturbations catastrophiques, telles qu'un feu de friche, une infestation d'agents pathogènes ou une sécheresse grave.

Dans le cadre de l'étude, on s'est servi d'une gamme de scénarios climatiques dérivés de trois modèles de circulation générale (HadCM3, MCGG2 et CSIRO Mk2b) pour déterminer les futurs régimes d'humidité des cinq îlots de forêt et pour prendre en considération les conséquences de ces régimes sur les essences dominantes. Dans les plaines, une région toujours menacée par le

stress d'une sécheresse, les niveaux d'humidité du sol représentent le paramètre individuel du changement climatique le plus important pour les écosystèmes naturels. La figure 12 montre l'effet net des changements modélisés des températures et des précipitations sur les niveaux d'humidité. La hausse des températures aura un puissant effet d'évaporation, de telle sorte que les bilans de l'humidité du sol décroîtront substantiellement.

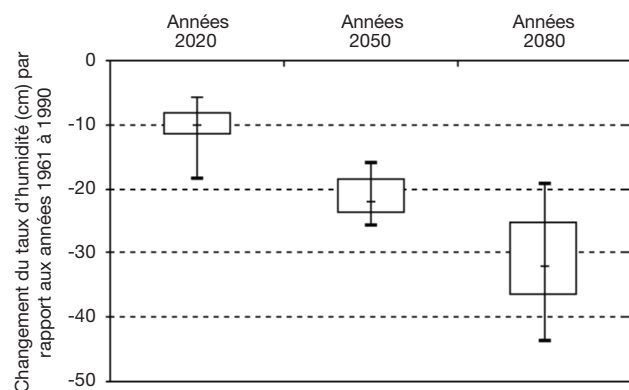


FIGURE 12 : Résumé des changements prévus du taux d'humidité du sol (moyenne établie relativement aux cinq sites d'étude des îlots de forêt) pour les années 2020, 2050 et 2080. Les lignes verticales minces du diagramme indiquent la gamme des taux d'humidité possibles comparée au climat de 1961 à 1990. Les carrés indiquent les gammes de taux d'humidité dans lesquelles se trouvent 50 p. 100 des prévisions du scénario. Le trait horizontal à l'intérieur de chaque carré représente le scénario de taux d'humidité médian.

Henderson *et al.* (2002) ont conclu que l'intégrité des écosystèmes des îlots de forêt sera gravement mise à l'épreuve. Il faudra probablement recourir à un aménagement très intensif pour y préserver certains types de couverts forestiers. Les mesures de gestion qui visent simplement à maintenir la végétation existante ou à rétablir les conditions historiques de répartition de la végétation et d'écosystèmes seront vouées à l'échec à mesure que le climat s'écartera de plus en plus des normales récentes et actuelles. Parmi les mesures d'adaptation possibles figurent la protection des forêts par le maintien de la diversité des âges de peuplement, une réaction énergique aux infestations d'agents pathogènes la régénération active de la forêt à l'aide d'essences présentes ou étrangères mieux adaptées aux nouveaux paramètres climatiques.

réseaux hydrographiques naturels par l'homme (Schindler et Donahue, 2006).

Adaptation

Les politiques de conservation peuvent viser soit à accroître l'inertie écologique, soit à la laisser intacte, soit à la réduire (Henderson *et al.*, 2002). Les associations végétales, déjà les espèces les plus « en harmonie » avec l'évolution du climat, nécessiteront le moins de mesures d'intervention humaine. Par contre, pour survivre, les ensembles de végétaux qui s'écartent de leurs niches climatiques naturelles exigeront une intervention humaine et un aménagement de plus en plus intensifs et actifs. Toutefois, au prix d'une importante intervention humaine, il sera possible en certains endroits de maintenir une végétation (et la faune qui l'accompagne) qui, autrement, disparaîtrait très certainement.

L'une des méthodes fréquemment proposées pour faire face au changement climatique est d'accroître la connectivité entre des aires protégées afin de faciliter la migration des populations de certaines espèces (p. ex., Malcolm et Markham, 2000; James *et al.*, 2001; Joyce *et al.*, 2001). Même si certaines espèces réussiront peut-être à migrer, d'autres seront menacées par l'arrivée de nouveaux compétiteurs ou par des agents pathogènes qui auront bénéficié de cette connectivité accrue. Ainsi, l'accroissement de la connectivité peut aussi accélérer le déclin de certains écosystèmes en favorisant les invasions d'espèces exotiques.

L'introduction volontaire d'une espèce indigène dans une zone voisine peut également constituer un outil utile d'adaptation au changement climatique, tout en étant moins susceptible de perturber l'écologie que l'introduction d'espèces exotiques eurasiennes (Thorpe *et al.*, 2001). Cependant, les arbres les plus résistants à la sécheresse qui pourraient survivre dans le nord des plaines proviennent d'Asie centrale (Henderson *et al.*, 2002). Les conifères de l'Ouest, tels que le douglas vert et le pin ponderosa, et les feuillus du sud des Prairies, comme l'érable à feuilles composées et le frêne vert, s'adapteraient peut-être bien aux futurs climats de l'écozone boréale ouest (Thorpe *et al.*, 2006). Par ailleurs, on s'attend à ce que les espèces boréales indigènes migrent vers le nord et diminuent en nombre dans les franges sud de leur territoire actuel.

En écologie de restauration, « on suppose souvent qu'une végétation de sous-étage s'établira avec le temps (« plantons des arbres, et le reste suivra »), mais le repeuplement naturel ne ramènera peut-être pas automatiquement les espèces souhaitées » (Frelich et Puettmann, 1999 [traduction]). Cependant, on ne connaît que peu de choses au sujet de l'introduction d'espèces d'arbres exotiques dans les forêts des Prairies, et pratiquement rien sur les introductions aux étages moyens et aux sous-étages. Les gestionnaires de la biodiversité doivent se considérer non pas comme des praticiens de la préservation, mais comme des « écologistes créateurs », car les paysages antérieurs ne peuvent plus être ciblés efficacement. Plusieurs options s'offrent à l'humanité, mais le passé n'en est pas une. Les écosystèmes qui résulteront du changement climatique dans les provinces des Prairies seront sans précédent.

3.3 PÉDOPAYSAGES

Les montagnes Rocheuses de l'ouest de l'Alberta et les terres sèches de l'écozone des Prairies sont des paysages très dynamiques et actifs. Les processus géologiques catastrophiques et dangereux associés aux

phénomènes climatiques extrêmes se manifestent communément sur les longues pentes abruptes de la Cordillère canadienne. Par exemple, en août 1999, une coulée de débris survenue au ruisseau Five-Mile, dans le parc national de Banff, a bloqué l'autoroute transcanadienne pendant plusieurs jours durant le pic de la saison touristique (Evans, 2002). Ces événements sont presque toujours déclenchés par des pluies excessives ou par le ruissellement dû à une fonte rapide de la neige ou de la glace. Il est probable que les coulées de débris, les avalanches de pierres, les inondations subites et les glissements de terrain se feront plus fréquents, étant donné les tendances actuelles et projetées de l'hydrologie et du climat, qui incluent une augmentation des chutes de pluie, particulièrement en hiver, une fonte des neiges précoce et le recul des glaciers (Evans et Clague, 1994, 1997). Ces changements influenceront sur la sécurité publique et sur l'entretien des infrastructures, surtout compte tenu de l'augmentation des activités de loisirs et du développement résidentiel dans les Rocheuses. À plus long terme, si le réchauffement et les sécheresses s'accroissent et si les glaciers disparaissent complètement, il pourrait en résulter un ralentissement des phénomènes catastrophiques, mais la dégradation du pergélisol pourrait faire croître pendant de nombreuses décennies les glissements de pente dans les endroits élevés (Evans et Clague, 1997).

Dans la majeure partie des provinces des Prairies, la couche sous-jacente est formée de sédiments peu consolidés qui s'érodent et cèdent là où ils sont exposés aux forces du vent, de l'eau et de la gravité exercées sur les parois des vallées et où l'agriculture ou l'aridité limitent le couvert végétal. Les paysages les plus actifs sont les champs de dunes et les vallées fluviales (Lemmen *et al.*, 1998), qui sont sensibles aux variations et aux extrêmes de l'hydrologie et du climat (Lemmen et Vance, 1999). L'augmentation prévue des sécheresses et de l'aridité se traduira probablement par une généralisation de l'érosion éolienne et par une augmentation de l'activité des dunes (Wolfe et Nickling, 1997). L'activité actuelle des dunes au centre aride de l'écorégion des prairies mixtes peut constituer un analogue de la réaction potentielle des champs de dunes, pour le moment stables, qui se trouvent aux limites plus humides de l'écozone des Prairies et du sud des plaines boréales (Wolfe et Nickling, 1997). Les évaluations de la végétation et de l'humidité du sol réalisées à l'aide de modèles (Thorpe *et al.*, 2001) semblent indiquer que l'évolution de la végétation se fera sous forme de prairies plus ouvertes, accompagnée d'une augmentation possible de l'activité dunaire. Dans les endroits les plus secs, le climat pourrait dépasser les seuils applicables aux crêtes des dunes actives, ce qui exigerait une gestion proactive de l'utilisation des terres et une application stricte des lignes directrices et de la réglementation en vigueur pour limiter l'activité dunaire. Les pentes et les lits des cours d'eau exposés à des pluies moins fréquentes mais plus intenses seront également sujets à une augmentation de l'érosion et à des glissements de pentes faibles, en raison du fait que le couvert végétal protecteur subira les effets de ces sécheresses prolongées (Sauchyn, 1998; Ashmore et Church, 2001).

La modification de 90 p. 100 de l'écozone des Prairies à des fins d'agriculture a entraîné l'exposition de dizaines de millions d'hectares aux effets de l'érosion. L'ordre de grandeur des pertes de sol annuelles sur les terres agricoles est de deux à trois fois plus élevé que sur les parcours naturels (Coote, 1983). L'érosion éolienne et l'érosion hydrique sont épisodiques; un seul épisode peut enlever plusieurs centimètres de terre végétale, détruisant ainsi des siècles ou des millénaires de pédogenèse et compromettant sérieusement la fertilité naturelle des terres agricoles. L'écorégion des prairies mixtes

de caractère semi-aride à subhumide, d'une superficie d'environ 200 000 km², court le risque de se transformer en désert. Les répercussions des activités humaines sur le sol des prairies sont réduites par l'exercice de mesures de conservation des sols, mais elles peuvent être aggravées par des facteurs sociaux et économiques, dont la perte de l'importance nationale du secteur de l'agriculture des Prairies depuis les années 1960, l'influence croissante des forces du marché mondial et des sociétés multinationales, la baisse des populations rurales et la réduction de l'appui à la recherche agricole, à l'atténuation des crises agricoles, aux programmes de soutien du revenu et de soutien au transport du grain (Knutilla, 2003).

Bien qu'il ne soit pas facile de prévoir l'avenir sur les plans social et économique (voir la section 2.3), on peut obtenir, grâce aux MCG, des prévisions de l'aridité future. D'après l'indice d'aridité, soit le rapport des précipitations à l'évapotranspiration potentielle (P/EVP), calculé pour 1961 à 1990 et pour les années 2050 à l'aide des

résultats du MCG2 et du scénario d'émissions B2, la superficie des terres menacées de désertification (P/EVP < 0,65; Middleton et Thomas, 1992) a augmenté de près de 50 p. 100 entre ces deux périodes (Sauchyn *et al.*, 2005). Selon les diagrammes de dispersion du climat futur (voir la figure 8), les points de ce scénario se situeraient au-dessus de la courbe de température médiane et en dessous de celle des précipitations médianes; ce scénario prévoit donc un climat modérément doux et sec. En raison de la grande variabilité interannuelle du climat des Prairies, la tendance à un accroissement de l'aridité prendra la forme de sécheresses plus fréquentes ou plus soutenues que durant les années intermédiaires d'humidité normale ou supérieure à la normale. Il est probable que, durant les sécheresses prolongées, les seuils minimums d'humidité du sol seront dépassés, de telle sorte que les paysages seront plus vulnérables aux perturbations et risqueront de subir la désertification (Administration du rétablissement agricole des Prairies, 2000).

4 RISQUES ET POSSIBILITÉS : SECTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES

4.1 AGRICULTURE

« Extrêmement importante pour l'économie canadienne, l'agriculture est naturellement sensible aux conditions climatiques. » (Lemmen et Warren, 2004, p. xii)

« Les conditions météorologiques touchent la production agricole davantage que toute autre production. » (Stroh Consulting, 2005 [traduction])

Répercussions biophysiques et adaptation

Dans les provinces des Prairies, l'agriculture pourrait bénéficier de plusieurs aspects du réchauffement climatique selon la vitesse et l'ordre de grandeur de ce dernier, et sa capacité à s'y adapter (voir le tableau 9). Des saisons de croissance plus chaudes et plus longues, et des hivers plus doux pourraient être avantageux. La hausse de la température aura un effet positif sur la croissance et le rendement des cultures jusqu'à ce que certains seuils soient atteints. Comme les producteurs agricoles jouissent d'une forte faculté d'adaptation, ils devraient pouvoir tirer profit de ces changements positifs. Par contre, des changements du régime de précipitations, l'augmentation du risque de sécheresses et des ravageurs qui l'accompagnent, ainsi que des taux d'humidité excessifs peuvent entraîner des situations fâcheuses (voir le tableau 9). Il sera plus difficile de s'adapter aux menaces et aux possibilités nouvelles, notamment l'augmentation de la probabilité des sécheresses dans les régions où le gel ou l'excès d'humidité constituent actuellement de plus grands dangers, car les habitants de ces régions sont moins habitués à faire face aux sécheresses.

Depuis de nombreuses années, on se sert des projections du changement climatique pour faire fonctionner des modèles de rendement des cultures (p. ex., Williams *et al.*, 1988). Cependant, ces évaluations produisent une vaste gamme de résultats selon les scénarios climatiques et les modèles d'impacts utilisés, l'échelle d'application et les hypothèses émises (p. ex., Wall *et al.*, 2004), et dans quelle mesure on a réussi à leur intégrer le concept de l'adaptation. L'une des plus importantes répercussions du

changement climatique concerne les changements de la disponibilité de l'eau aux fins d'agriculture. Tous les types d'agriculture dépendent de la disponibilité d'une quantité suffisante d'eau de qualité au moment opportun. Au Canada, c'est le secteur agricole qui, à 71 p. 100, est le plus grand consommateur net d'eau (voir l'étude de cas 2; Harker *et al.*, 2004; Marsalek *et al.*, 2004;). L'utilisation de l'eau par le secteur agricole est en croissance constante depuis 1972, et cette tendance se maintiendra probablement (Coote et Gregorich, 2000). Dans les Prairies, tant la culture sous irrigation que l'élevage extensif sont limités par la disponibilité de l'eau (Miller *et al.*, 2000), particulièrement au cours des années de sécheresse (Wheaton *et al.*, 2005a). Par exemple, les animaux exigent plus d'eau lorsqu'ils subissent un stress thermique, et le stress d'origine hydrique pendant des stades critiques (p. ex., durant la floraison) est particulièrement néfaste pour les plantes. L'Alberta compte environ 60 p. 100 des terres agricoles irriguées du pays (Harker *et al.*, 2004) et, en 2001, plus de 67 p. 100 des exploitations canadiennes de bovins d'élevage et laitiers, de porcs, de volailles et d'autre bétail se trouvaient dans les Prairies (Beaulieu et Bedard, 2003). Les populations de bovins et de porcs ont augmenté constamment au cours des dix dernières années (Statistique Canada, 2005c), et l'on s'attend à ce que la demande d'eau destinée à l'irrigation et au bétail augmente avec les températures à la hausse et l'expansion de ces secteurs.

L'irrigation constitue la principale mesure d'adaptation du secteur agricole aux déficits annuels en eau du sol (voir l'étude de cas 2) et l'adoption de techniques efficaces au cours des dernières décennies a accru spectaculairement l'efficacité de l'irrigation à la ferme. Toutefois, la perte constante d'eau due à l'évaporation, aux fuites et à d'autres facteurs dans les réservoirs d'irrigation et les systèmes d'irrigation à fossés ouverts confirme qu'il faudra apporter d'autres améliorations à la gestion de ressources en eau limitées. Des publications récentes (p. ex., Irrigation Water Management Study Committee, 2002) révèlent que les bassins des rivières Oldman et Bow pourraient soutenir une augmentation de l'irrigation de l'ordre de 10 p. 100 et de 20 p. 100, respectivement. Cependant, comme le changement climatique entraîne des réductions de débits (voir la section 3.1) et des augmentations de la demande en eau pour les

Adaptation du secteur agricole à l'aide de l'irrigation

L'irrigation est la méthode d'adaptation privilégiée du secteur agricole dans les environnements arides. Elle réduit les effets des sécheresses et les autres risques pour les fermes, permet une plus grande diversité des cultures, accroît les marges bénéficiaires et améliore la durabilité à long terme des petites exploitations agricoles. La culture sous irrigation est de loin le plus grand utilisateur d'eau des Prairies, et les plus petites améliorations de son efficacité font économiser des quantités considérables d'eau. Les Prairies englobent près de 75 p. 100 des terres irriguées du Canada; la Saskatchewan en renferme 11 p. 100, et plus de 60 p. 100 se trouvent dans le sud de l'Alberta (Irrigation Water Management Study Committee, 2002). On a recours à l'irrigation sur 4 p. 100 des terres cultivées dans les districts d'irrigation du sud de l'Alberta, où la production représente 18,4 p. 100 du produit intérieur brut agroalimentaire de la province, ce qui dépasse de 250 p. 100 à 300 p. 100 la productivité de l'aridoculture. De grandes industries de transformation des aliments ont vu le jour dans le sud de l'Alberta, où la saison de croissance plus longue, le nombre de degrés-jours élevé et l'approvisionnement en eau relativement sûr provenant principalement de la fonte des neiges dans les Rocheuses permettent de produire des cultures spécialisées (pommes de terre, haricots et betteraves à sucre).

Les progrès des buses d'irrigation à pivot central, y compris l'irrigation des coins de champs et les dispositifs à faible pression, ont beaucoup amélioré l'efficacité et l'efficacité des systèmes d'irrigation. Grâce aux économies de main-d'œuvre et à la capacité d'irriguer les terrains vallonnés et les terres situées « au-dessus des fossés », la superficie irriguée en Alberta a plus que doublé depuis 1970. En 2006, l'infrastructure d'irrigation comprenait 7 796 km d'ouvrages de transport de l'eau (fossés et canalisations) et 49 réservoirs. Les réservoirs en dérivation combinent les variations saisonnières de l'approvisionnement et de la demande en eau, mais ils ne sont pas aussi efficaces que les réservoirs installés sur le cours d'eau pour répondre aux besoins en débits minimums et de répartition. Les coûts des immobilisations de la distribution de l'eau sont considérables. Par exemple, le coût estimatif d'un plan de distribution de l'eau dans l'est de l'Alberta se chiffrait à 168 millions de dollars pour des canalisations, des fossés et des réservoirs destinés à dynamiser l'une des régions les plus arides de la province (Special Areas Board, 2005). Ce projet a eu pour avantage net de permettre le développement de 8 000 à 12 000 hectares (20 000 à 30 000 acres) de terres irriguées – un investissement de 15 000 \$ à 20 000 \$ par hectare.

Une étude des besoins et des possibilités d'irrigation a été mise en œuvre en 1996 par l'Alberta Irrigation Projects Association (AIPA), qui représente les 13 districts d'irrigation de la province, par la direction chargée de l'irrigation du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta (Alberta Agricultural, Food and Rural Development), et par l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP), d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le rapport sur le projet, intitulé *Irrigation in the 21st Century*, comporte les principales conclusions suivantes :

- L'évolution vers un accroissement de la production de fourrage pour l'industrie de l'élevage et l'augmentation de la superficie consacrée aux cultures spécialisées destinées à la transformation à forte valeur ajoutée entraîneront une légère hausse des besoins en eau, comparativement aux besoins propres au mélange de cultures actuel.
- L'efficacité de l'application à la ferme, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'eau d'irrigation appliquée et retenue dans la rhizosphère et la quantité totale d'eau d'irrigation livrée au réseau de la ferme, a augmenté, passant d'environ 60 p. 100 en 1990 à près de 71 p. 100 en 1999. Grâce aux nouvelles technologies, cette efficacité pourrait approcher 78 p. 100, bien que, pour l'avenir prévisible, une efficacité d'application à la ferme de 75 p. 100 soit considérée comme un objectif raisonnable aux fins de la planification.
- Des systèmes d'irrigation de surface bien de niveau et bien conçus peuvent atteindre une efficacité de 75 p. 100, tandis que les systèmes de conception médiocre et mal gérés peuvent se situer à moins de 60 p. 100. Les gicleurs à faible pression dirigés vers le bas permettent à l'efficacité d'atteindre entre 75 p. 100 et 90 p. 100.
- On estime que les pertes d'eau par évaporation dans les fossés et les réservoirs représentent environ 4 p. 100 des volumes attribués sous licence. Les pertes par évaporation ont été réduites grâce à l'installation de canalisations. Alors que les nouveaux réservoirs de stockage permettent une amélioration considérable des opérations dans les districts d'irrigation et une réduction des écoulements de retour, ces réservoirs sont eux-mêmes des utilisateurs d'eau, et l'on devrait tenir compte de cette utilisation lors de la prise de décisions concernant la conception de nouveaux systèmes de stockage. La préférence devrait être accordée aux stockages efficaces qui portent au maximum la capacité de stockage par unité de surface.
- Le niveau d'utilisation avec prélèvement est, en moyenne, de 84 p. 100 du niveau requis pour obtenir des rendements optimaux des cultures. On s'attend à ce que le degré de gestion de l'eau destinée aux cultures augmente dans l'avenir, étant donné :
 - la transition continue des méthodes d'irrigation de surface à des méthodes faisant appel à des gicleurs;
 - l'évolution des types de cultures irriguées, des céréales aux cultures spécialisées de plus grande valeur;
 - l'accroissement progressif de la formation et de l'éducation des agriculteurs qui ont recours à l'irrigation quant aux techniques de gestion plus poussées de l'eau destinée aux cultures et à leurs avantages;
 - la poursuite des améliorations en matière de techniques aptes à permettre l'établissement d'un calendrier d'irrigation et l'adoption générale de leur utilisation;
 - la poursuite de l'amélioration de la conception des systèmes d'irrigation à la ferme.

L'étude de l'AIPA était basée sur la simulation des effets des variables de la demande de gestion de l'eau à l'échelle des fermes et des districts sur la demande brute d'irrigation globale ainsi que sur la capacité des réseaux hydrographiques d'y répondre. On a procédé à des modélisations concernant le débit et les conditions climatiques dans le réseau du bassin de la Saskatchewan-Sud pour la période allant de 1928 à 1995. Même si l'on a connu des déficits de l'apport en eau de plus en plus importants, de plus en plus fréquents et de plus en plus longs en raison de l'augmentation de la demande en irrigation, il serait possible de maintenir la durabilité économique des entreprises agricoles en améliorant l'efficacité d'utilisation de l'eau et en augmentant les applications d'eau à la ferme. Cet aspect s'avère particulièrement important dans le cas des exploitations qui peuvent transférer l'eau de cultures de moindre valeur à des cultures de plus grande valeur durant les années de déficit en eau.

Des gains importants de l'efficacité de l'application à la ferme ont été réalisés grâce à l'évolution des méthodes d'irrigation et aux progrès accomplis dans le domaine de la technologie des systèmes. L'amélioration de la gestion des méthodes d'irrigation à la ferme permettra à l'avenir des applications d'eau susceptibles d'atteindre jusqu'à 90 p. 100 du niveau optimal d'utilisation de l'eau destinée aux cultures, tel que requis par les types de cultures et les pratiques culturales du sud de l'Alberta. La perte d'eau dans les réservoirs et les systèmes à fossés ouverts est encore importante à cause de l'évaporation et des fuites, par exemple, et elle nécessitera une gestion encore meilleure des ressources en eau limitées.

Même si les institutions, dans les districts d'irrigation et les organismes gouvernementaux, ne tiennent pas compte explicitement du changement climatique et de l'adaptation, tout semble indiquer que des irrigateurs individuels envisagent d'appliquer des mesures d'adaptation et d'accroître l'efficacité de l'irrigation (voir la section 5). En effet, certains d'entre eux ont proposé « des solutions de rechange aux barrages coûteux et délicats, du point de vue de l'environnement, en encourageant le recours à un examen de la possibilité de stocker l'eau à la ferme, en particulier dans les coins des terres irriguées à l'aide de systèmes à pivot » (Kent Bullock, gestionnaire de district, district d'irrigation de Taber, communication personnelle, 14 novembre 2006 [traduction]). Ce stockage additionnel pourrait fournir un appoint d'eau au début et à la fin de la saison de culture, le cas échéant.

TABLEAU 9 : Changements possibles de l'agroclimat de la région agricole des provinces des Prairies, et exemples d'avantages et de désavantages éventuels pour l'agriculture.

Indice	Changements (par rapport à la période 1961-1990, sauf indication contraire)	Modèles climatiques et scénarios d'émission	Période et tendances spatiales	Référence	Avantages possibles pour l'agriculture ¹	Désavantages possibles pour l'agriculture ¹
Indices thermiques						
Degrés-jours de croissance	25 à 40 p. 100 42 à 45 p. 100	CSIROMk2b BII, changements supérieurs avec les autres modèles MCCG1 GA1	Années 2050 Changements supérieurs dans le nord Années 2050 pour Lethbridge et Yorkton	Thorpe <i>et al.</i> (2004) CCIS ² (2002)	Plus de choix de cultures; plus de récoltes par année; récoltes de meilleure qualité; évolution vers une saison de croissance	Vitesse de maturation accélérée et rendements inférieurs; activité accrue des insectes; changement dans l'efficacité des herbicides et pesticides
Degrés-jours de chauffage	-23 p. 100	MCCG1 GA1	Années 2050 pour Lethbridge et Yorkton	CCIS ² (2002)	Coûts de chauffage réduits	
Degrés-jours de climatisation	146 à 218 p.100	MCCG1 GA1	Années 2050 pour Lethbridge et Yorkton	CCIS ² (2002)		Ventilation accrue pour les étables; plus d'abris frais et de climatisation
Vagues de chaleur : Températures maximums à récurrence de 20 ans	Hausse de 1 à 2 °C	MCCG2 A2	2050	Kharin et Zwiers (2005)		Stress thermique pour les plantes et les animaux; le taux de transpiration accru pourra faire baisser les rendements; besoin accru en eau de refroidissement et en eau potable
Vagues de froid : températures minimums à récurrence de 20 ans	Hausse de 2 à >4 °C par rapport à 2000	MCCG2 A2	2050	Kharin et Zwiers (2005)	Réduction du stress thermique touchant les animaux	Augmentation des ravageurs et des maladies; augmentations potentielles de la destruction due à l'hiver
Indices d'humidité :						
Capacité en eau du sol (fraction), annuelle	>0 à <-0,2 assèchement surtout	MCCG2 A2 moyenne d'ensemble	Années 2050, diminutions les plus grandes dans le sud et le sud-est	Barrow <i>et al.</i> (2004)		Augmentation du stress dû à l'humidité pour les cultures; diminution de la disponibilité de l'eau
Indice Palmer de gravité de sécheresse	Sécheresses graves deux fois plus fréquentes	Goddard Institute for Space Studies	CO ₂ doublé dans le sud de la Saskatchewan	Williams <i>et al.</i> (1988)		Augmentation des dommages et des pertes dus aux sécheresses; coûts d'adaptation accrus, etc.
Déficit en humidité : précipitations annuelles moins l'évapotranspiration potentielle (P/ÉP)	-60 mm à -140 mm (c.-à-d. déficit accru de 0 à -75 mm)	MCCG1 et HadCM3 MCCG1 GA1	Années 2050 Années 2050	Gameda <i>et al.</i> (2005) Nyirfa et Harron (2001)	Comme pour les sécheresses Comme ci-dessus	Comme pour les sécheresses Comme ci-dessus
Indice d'aridité (IA) : rapport de précipitations annuelles à l'évapotranspiration potentielle (P/ÉP)	Augmentation de 50 p.100 de la superficie où l'IA<0,65	MCCG2 B2	Années 2050	Saughyn <i>et al.</i> (2005)	Comme ci-dessus	Comme ci-dessus

Notes : ¹ La plupart des avantages et des désavantages sont résumés d'après Wheaton (2004).

² Projet Climate Change Impacts Scenarios (CCIS).

TABLEAU 9 : (Suite et fin)

Indice	Changements (par rapport à la période 1961-1990, sauf indication contraire)	Modèles climatiques et scénarios d'émission	Période et tendances spatiales	Référence	Avantages possibles pour l'agriculture ¹	Désavantages possibles pour l'agriculture ¹
Nombre de jours secs : période entre deux jours de pluie consécutifs (>1 mm)	Changements modestes et négligeables	MCCG2 A2	2080 à 2100	Kharin et Zwiers (2000)		
Nombre de jours de pluie	Changements modestes et négligeables	MCCG2 A2	2080 à 2100	Kharin et Zwiers (2000)		
Précipitations extrêmes : période de récurrence de 20 ans des précipitations annuelles extrêmes	Augmentation de 5 à 10 mm et diminution de la période de récurrence par un facteur de 2	MCCG2 A2	Années 2050	Kharin et Zwiers (2005)		Inondations plus nombreuses et érosion plus importante; planification des extrêmes plus difficile
Couverture de neige	Réductions générales	MCCG2 IS92a	50 à 100 prochaines années	Brown (2006)	Moins de déneigement; saison de pâturage accrue	Quantité et qualité réduites des approvisionnements en eau
Autres indices						
Vitesse du vent, annuelle	<5 à >10 p. 100	MCCG2 A2 moyenne d'ensemble	Années 2050	Barrow <i>et al.</i> (2004)	Dispersion accrue de la pollution atmosphérique	Érosion accrue des sols exposés; dommages aux plantes et aux animaux
Érosion éolienne des sols	16 p. 100	Manabe et Stouffer	CO ₂ doublé	Williams et Wheaton (1998)		
	-15 p. 100	Institute for Space Studies	CO ₂ doublé			
Rayonnement solaire incident	<-2 à <-6 W/m ²	MCCG2 A2 moyenne d'ensemble	Années 2050; diminutions supérieures dans le centre-nord	Barrow <i>et al.</i> (2004)	La diminution du rayonnement peut compenser partiellement le stress thermique	Croissance réduite des plantes si des seuils sont dépassés
Indice de rigueur du climat ³	-3 à -9	MCCG1 IS92a	Années 2050; plus grandes améliorations en Alberta et au Manitoba	Barrow <i>et al.</i> (2004)		Climat moins rigoureux pour les travaux à l'extérieur; plus acceptable pour les animaux
Dioxyde de carbone	Divers scénarios d'émission ont été utilisés, (p. ex., 1 p. 100 par année)	IS92a		Leggett <i>et al.</i> (1992)	Productivité accrue des plantes en fonction d'autres facteurs	Réduction possible de la qualité des récoltes

Notes : ³ L'indice de rigueur du climat (IRC) est une mesure annuelle de l'effet du climat sur le confort et le bien-être des humains et des risques que présente le climat pour la santé et la vie des humains; son échelle va de 0 à 100 (Barrow *et al.*, 2004); un IRC plus élevé indique un climat plus rigoureux. Les facteurs de calcul de cet indice sont pondérés également entre les facteurs d'inconfort hivernal et estival et des facteurs d'ordre psychologique liés aux dangers ainsi qu'à la mobilité extérieure.

cultures (en raison de la hausse de l'évapotranspiration et de l'allongement des saisons de croissance), on s'attend à ce que ces bassins connaissent de graves pénuries d'eau, compte tenu du système d'irrigation en place. La mesure dans laquelle la hausse des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère améliorera l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes est incertaine et dépend des cultures, des éléments nutritifs et de la disponibilité de l'eau (Van de Geijn et Goudriaan, 1996) ainsi que d'autres facteurs (voir la section 3.2). L'utilisation de types de cultures plus tolérants aux sécheresses est une mesure d'adaptation courante.

Évaluation économique

Les résultats d'études des répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture des Prairies sont très variables d'une région et d'une étude à l'autre. Certaines études semblent indiquer que les conséquences économiques globales seront négatives mais faibles (Arthur, 1988), et d'autres, qu'elles seront positives et importantes (Weber et Hauer, 2003). Il a été projeté que le Manitoba, la province qui connaît le plus faible déficit en eau, bénéficiera du réchauffement, car les producteurs adopteront des cultures de plus grande valeur, tendance susceptible d'entraîner une hausse de plus de 50 p. 100 de la marge bénéficiaire brute (Mooney et Arthur, 1990). Alors que des répercussions principalement fâcheuses ont été au départ prévues pour la Saskatchewan (Williams *et al.*, 1988; Van Kooten, 1992), cette conclusion a été mise en doute à la suite d'études réalisées aux États-Unis sur des régions limitrophes des Prairies qui, elles, prévoient des avantages pour l'agriculture découlant de l'allongement des saisons de croissance et de la hausse des températures (Bloomfield et Tubiello, 2000). De même, dans des études faisant appel à une approche fondée sur la valeur des terres (Weber et Hauer, 2003), on estime qu'il y aura des répercussions favorables sur l'agriculture des Prairies, avec des gains moyens de la valeur des terres se chiffrant à 1 551 \$ par hectare, soit une hausse d'environ 200 p. 100 par rapport aux valeurs de 1995. Ces valeurs sont régies par l'allongement de la saison de croissance et la production de cultures de plus grande valeur.

Les trois grandes limites des indications dont on dispose quant aux répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture sont les suivantes :

- La plupart des études des impacts économiques ne tiennent pas compte des effets des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations, qui peuvent être dévastateurs pour l'économie régionale (voir l'étude de cas 3; Wheaton *et al.*, 2005a, b).
- Dans de nombreuses études, on n'utilise pas d'approches intégrées, telles que les modèles bioéconomiques, pour estimer les impacts économiques du changement climatique sur l'agriculture des Prairies. Il faudra procéder à des évaluations socio-économico-biophysiques plus intégrées des répercussions du changement climatique. On trouvera à la figure 13 une méthodologie conceptuelle pour ce genre d'analyse.

- Très peu d'études se penchent sur la production animale. Le changement climatique entraînera à la fois des pertes et des gains économiques pour le secteur de l'élevage. Les pertes découleront du stress dû à la chaleur que subira le bétail et de l'incidence de maladies et de ravageurs nouveaux, alors que les gains attendus proviendront de l'amélioration de l'efficacité alimentaire dans un climat plus doux.

Les répercussions économiques nettes sur le secteur agricole dans la région des Prairies subiraient également l'effet des liens commerciaux à l'intérieur du Canada et avec l'étranger (voir le chapitre 9). Par exemple, la position du Canada au chapitre de la production et du commerce du blé et du maïs-grain pourrait s'améliorer par rapport au reste du monde (voir le chapitre 9; Smit, 1989); notamment, la production canadienne de blé pourrait s'accroître de 4,5 p. 100 à 20 p. 100 (Reilly, 2002).

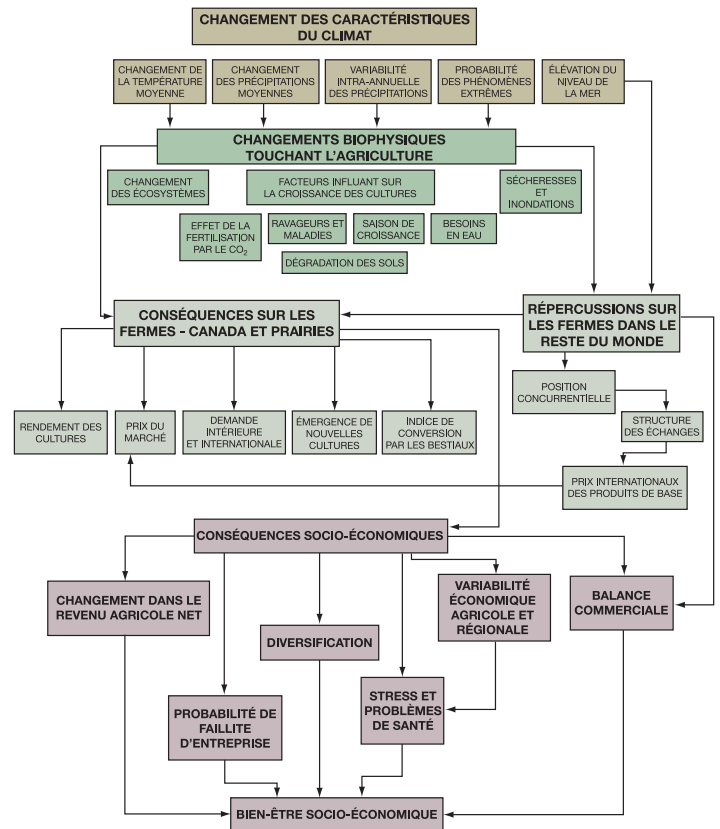


FIGURE 13 : Interactions entre le changement climatique et les répercussions socio-économiques liées à l'agriculture.

Sécheresses de 2001 et 2002 dans les Prairies

Les sécheresses ont des répercussions importantes sur l'économie, l'environnement, la santé et la société. Celles de 2001 et 2002, qui ont apporté dans certaines régions du Canada des conditions qui n'avaient pas été constatées depuis au moins un siècle, n'ont pas fait exception. En règle générale, au Canada, les sécheresses ne touchent qu'une ou deux régions, durent relativement peu de temps (une ou deux saisons) et n'influent que sur un petit nombre de secteurs économiques. En revanche, celles des années 2001 et 2002 ont touché de vastes superficies, ont duré longtemps et ont eu des répercussions substantielles sur de nombreux secteurs économiques. Elles ont été parmi les premières sécheresses pancanadiennes jamais enregistrées et ont frappé des régions qui sont moins habituées à faire face à la rareté de l'eau. Bien que d'envergure nationale, ces sécheresses étaient cependant concentrées dans l'Ouest, la Saskatchewan et l'Alberta étant les provinces les plus touchées (Wheaton *et al.*, 2005a, b).

Les répercussions des sécheresses ont été étendues, notamment :

- La production agricole a baissé d'une valeur estimative de 3,6 milliards de dollars au cours des années de sécheresse 2001 et 2002, la chute la plus imposante étant celle de 2002, qui a atteint plus de 2 milliards de dollars.
- Le produit intérieur brut a été réduit de 5,8 milliards de dollars au cours de 2001 et 2002, avec, encore une fois, une perte supérieure en 2002, c'est-à-dire de 3,6 milliards de dollars.
- Les pertes d'emplois ont dépassé 41 000, dont près de 24 000 en 2002.
- Les chutes de production ont été dévastatrices à l'échelle du pays pour un grand nombre de cultures. En Alberta, la perte de production s'est chiffrée à 413 millions de dollars en 2001, et à 1,33 milliard de dollars en 2002. La valeur estimative de la diminution des récoltes en Saskatchewan a été de 925 millions de dollars en 2001, et de 1,49 milliard de dollars en 2002.
- En 2002, le revenu agricole net a été négatif en Saskatchewan et nul en Alberta.
- Des épisodes d'érosion éolienne grave ont été enregistrés, malgré les améliorations apportées par le travail de conservation du sol.
- Les productions animales ont connu des périodes particulièrement difficiles en raison de la rareté générale des aliments pour animaux et de l'eau.

- Des approvisionnements en eau qui étaient auparavant fiables n'ont pas réussi à répondre aux besoins dans certaines régions et ont nécessité de nombreux projets d'adaptation, de la réparation de barrages, d'étangs-réservoirs et de puits existants à la construction de nouveaux étangs-réservoirs et puits. Le bétail a été abattu ou transporté vers des zones où le fourrage et l'eau étaient plus accessibles. Les collectivités ont eu besoin d'un complément d'eau provenant de diverses sources. Ces adaptations ont entraîné des coûts supplémentaires pour les collectivités ainsi que des pertes de récoltes et de bétail.
- On a constaté une réduction notable de la croissance des forêts de peupliers et un dépérissement général des peupliers et d'autres espèces d'arbres dans les régions les plus touchées par la sécheresse dans l'ouest du Canada. Les bouleaux, frênes et autres espèces d'arbres plantés dans les zones urbaines, comme Edmonton, ont également été sérieusement touchés (Hogg *et al.*, 2006). Les peupliers ont subi un effondrement majeur de leur productivité au cours de cette sécheresse (Hogg *et al.*, 2005).
- Des effets multisectoriels ont été enregistrés, et des répercussions sur la production agricole et le secteur de la transformation, sur les approvisionnements en eau, les loisirs, le tourisme, la santé, la production d'énergie hydroélectrique et les transports ont été documentées.
- Parmi les répercussions à long terme, il y a eu des dommages causés aux sols et d'autres dommages dus à l'érosion éolienne et à la détérioration des prairies.

Plusieurs programmes gouvernementaux d'intervention et de protection du revenu, ainsi que d'autres mesures d'adaptation, dont certaines coûteuses et perturbatrices, ont compensé partiellement les répercussions socio-économiques néfastes des années de sécheresse 2001 et 2002. Un bon nombre de mesures d'adaptation se sont révélées insuffisantes face à une sécheresse aussi intense et persistante, et touchant une aussi grande superficie. Étant donné que l'on prévoit que des sécheresses plus intenses et plus prolongées frapperont les Prairies dans l'avenir, ces récentes répercussions mettent en évidence la vulnérabilité de l'Ouest canadien et la nécessité d'améliorer la capacité d'adaptation dans toutes les régions.

Conclusions

Il se peut que l'allongement de la saison de croissance, l'augmentation du nombre de degrés-jours et les hivers plus doux et plus courts créent des possibilités pour l'agriculture. Pour ce qui est des répercussions négatives du changement climatique, elles comptent entre autres l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes, tels que les sécheresses et les orages intenses, et des taux de changement rapides qui peuvent dépasser certains seuils. Les répercussions nettes sur l'agriculture ne sont pas claires et dépendent fortement des hypothèses posées, notamment de l'efficacité des mesures d'adaptation. Plusieurs aspects des mesures d'adaptation sont encore mal compris, comme le processus de mise en œuvre et l'efficacité potentielle des différentes approches.

4.2 INDUSTRIE FORESTIÈRE

Exploitation et aménagement forestiers

Les phénomènes climatiques de courte durée peuvent influencer sur les activités forestières et sur l'accès à des approvisionnements en bois

exploitables. On compte au nombre de leurs répercussions des inondations entraînant des pertes de routes, de ponts et de ponceaux, des températures hivernales plus élevées qui ont une incidence sur la durée de gel des terrains utilisés pour les activités hivernales, notamment sur la capacité de construire et d'entretenir des chemins de glace (*voir* la section 4.3), et des sols gorgés d'eau dans les parcelles de coupe, qui empêchent d'utiliser du matériel lourd (Archibald *et al.*, 1997). Dans les zones humides ou durant les périodes de fortes précipitations, le matériel d'exploitation peut creuser de profondes ornières, phénomène qui touche la productivité à long terme et la capacité de régénération des sites et le potentiel d'érosion (Archibald *et al.*, 1997; Grigal, 2000). Sur les parcelles très pentues, ces conditions peuvent être aggravées et entraîner des glissements de terrain (Grigal, 2000). D'autres répercussions résultent du mauvais entretien des chemins et des ouvrages de régularisation de l'eau, la première négligence étant responsable de l'érosion accrue des pentes et la seconde, de l'engorgement des sols et des inondations. Les activités d'exploitation forestière ont souvent lieu en hiver, parce que le sol gelé est relativement à l'abri des impacts du matériel lourd (Grigal, 2000). Les inondations ou l'érosion grave causées par les épisodes de précipitations extrêmes peuvent réduire, voire empêcher, les possibilités de remise en état des chemins forestiers temporaires

(Van Rees et Jackson, 2002). Les chemins qui traversent des cours d'eau ont un effet sur la qualité de l'eau et les habitats des poissons puisqu'ils y introduisent des sédiments, mais ces effets sont généralement peu importants, sauf lors de phénomènes extrêmes (Steedman, 2000). Parmi les réactions d'adaptation actuelles à ces conditions figurent l'utilisation de pneus à portance élevée sur le matériel forestier lorsque les sols sont mouillés (Mellgren et Heidersdorf, 1984), la réaffectation des activités de récolte forestière vers des sites plus secs et la réalisation de ces activités en été plutôt qu'en hiver. Cependant, les modifications du matériel peuvent être coûteuses et difficiles d'entretien.

À long terme, le climat a un effet sur la croissance et la durabilité de la productivité des peuplements forestiers. La température, l'humidité et la disponibilité des éléments nutritifs ainsi que les concentrations atmosphériques de CO₂ agissent toutes directement sur la croissance des arbres (Kimmins, 1997). Dans les forêts aménagées, les jeunes plants mis en terre sont sensibles au climat, et même les plants issus de la régénération naturelle qui suit une perturbation sont sensibles au climat dans les premiers stades de leur établissement (Parker *et al.*, 2000; Spittlehouse et Stewart, 2003). Les facteurs climatiques, par l'intermédiaire des sols et de la topographie, influent également sur la composition en espèces des peuplements et des paysages forestiers (Rowe, 1996).

La productivité des forêts et la composition en espèces dans le paysage subissent aussi les effets des perturbations de grande envergure, lesquelles sont fortement régies par le climat. Pour les forêts canadiennes, les agents de perturbation les plus importants sont les feux de forêt (Weber et Flannigan, 1997) et les infestations d'insectes (Volney et Fleming, 2000). Par exemple, dans les provinces des Prairies, les insectes nuisibles ont touché en moyenne 3,1 millions d'hectares par année entre 1975 et 2005, atteignant des superficies extrêmes de 10 à 12 millions d'hectares au milieu des années 1970 (Programme national de données forestières, 2005). Les feux de forêt ont dévasté dans les Prairies une moyenne d'un peu moins d'un million d'hectares par année entre 1975 et 2003, mais ils ont porté atteinte à 3 à 4 millions d'hectares durant certaines des années 1980 (Programme national de données forestières, 2005).

Pour évaluer les effets du climat sur les écosystèmes dans les forêts commerciales, il faut disposer de modèles d'écosystèmes complets qui incluent à la fois les processus agissant sur les écosystèmes à l'échelle locale (p. ex., la productivité) et les processus à l'échelle des paysages (p. ex., la dissémination des graines, les perturbations). Ces modèles dynamiques planétaires de la végétation peuvent être utilisés comme simulateurs individuels ou être couplés à des modèles de circulation générale. Il s'agit, par exemple, de l'Integrated Biosphere Simulator (IBI; Foley *et al.*, 1996), le modèle de Lund-Potsdam-Jena (Gerber *et al.*, 2004) et le MC1 (Bachelet *et al.*, 2001). Il faudra procéder à d'autres applications de ces modèles à l'échelle régionale, avec paramétrisation détaillée et validation des résultats, approche d'ailleurs adoptée en Europe dans le cadre de plusieurs évaluations forestières (Kellomäki et Leinonen, 2005; Schröter *et al.*, 2005; Koca *et al.*, 2006).

Vulnérabilités futures

Les scénarios climatiques établis pour les provinces des Prairies semblent indiquer que l'avenir apportera des hivers plus doux accompagnés de précipitations accrues, des printemps et des étés

précoces pendant lesquels les taux d'humidité du sol seront réduits (voir la section 2.5). Dans ces conditions, les possibilités de transport au printemps sur les chemins forestiers pourraient être réduites. Dans les endroits vulnérables (p. ex., aux traversées routières), l'érosion est susceptible d'augmenter à cause de précipitations plus abondantes et plus intenses (Spittlehouse et Stewart, 2003). Les inondations demeureraient préoccupantes et exigeraient de prêter une attention particulière au choix de la taille des ponceaux et autres ouvrages de régularisation des eaux (Spittlehouse et Stewart, 2003). Dans les secteurs où les activités hivernales sont importantes, le raccourcissement de la période de gel du sol limiterait l'exploitation forestière et aurait une incidence sur l'affectation du matériel de récolte aux secteurs de coupe. Le tableau 10 présente des mesures d'adaptation possibles à ces types de changements et à d'autres répercussions du changement climatique.

TABLEAU 10 : Exemples de mesures d'adaptation en gestion forestière d'après Spittlehouse et Stewart (2003).

Gestion des gènes	Pratiquer une sélection favorisant la résistance aux ravageurs, aux stress et aux extrêmes climatiques
Protection des forêts	Modifier la structure des forêts et aménager les paysages afin de prévenir les incendies (c.-à-d. créer des aires d'inflammabilité moindre par réduction de la matière combustible)
Régénération forestière	Aider les essences commerciales à migrer des territoires actuels vers des territoires futurs grâce à la régénération artificielle
Aménagement sylvicole	Pratiquer des éclaircies précommercialisation afin d'améliorer la croissance et la résistance aux insectes et aux maladies
Ressources non ligneuses	Minimiser la fragmentation de l'habitat et maintenir la connectivité
Gestion des parcs et des aires de nature sauvage	Gérer ces espaces afin de retarder et d'orienter le changement, et d'améliorer ses effets

La hausse des températures fait augmenter à la fois l'absorption du carbone (photosynthèse) et les pertes de carbone (par respiration); son effet dépendra donc de l'équilibre net entre ces deux processus (Amthor et Baldocchi, 2001). Il a été démontré que la photosynthèse et la respiration s'adaptent au changement des conditions environnementales (acclimatation); par conséquent, toute augmentation pourrait être de courte durée. On a montré aussi que les changements de la photosynthèse dépendent fortement de la disponibilité des éléments nutritifs (en particulier de l'azote) et de l'eau (Baldocchi et Amthor, 2001). Globalement, on s'attend à ce que la productivité primaire nette s'accroisse avec l'élévation des températures et l'allongement des saisons de croissance, du moment que l'eau et les éléments nutritifs ne se révèlent pas des facteurs limitatifs (Norby *et al.*, 2005).

Les températures du sol monteront probablement aussi. Bien qu'aucune étude sur le réchauffement du sol n'ait été réalisée dans les Prairies, un réchauffement expérimental du sol effectué dans le

nord de la Suède (au 64 °Nord) a entraîné une augmentation de la croissance sur la surface expérimentale et a démontré que l'ajout d'engrais et d'eau faisait augmenter de façon spectaculaire la croissance en volume par rapport au seul réchauffement (Stromgren et Linder, 2002). Dans le cadre d'un vaste examen d'autres expériences de réchauffement du sol, on a trouvé des taux accrus de disponibilité de l'azote pour presque tous les sites et types de végétation (Rustad *et al.*, 2001). Toutefois, cette réaction est liée à la disponibilité de l'eau et subit également l'effet du dépôt d'azote provenant de sources industrielles (Kochy et Wilson, 2001).

Dans les provinces des Prairies, une bonne partie de la limite sud de la forêt boréale est actuellement vulnérable aux effets des sécheresses, et l'on s'attend à ce que cette vulnérabilité augmente dans l'avenir (Hogg et Bernier, 2005). La capacité de rétention d'eau (CRE) du sol est un facteur critique de la détermination de la quantité d'eau disponible pour répondre aux besoins d'absorption du système racinaire des arbres. Dans le cadre de simulations de sécheresses à venir, on a obtenu une réduction d'environ 20 p. 100 de la productivité de l'épinette blanche dans des endroits de la Saskatchewan où la CRE est faible (Johnston et Williamson, 2005).

Une augmentation des concentrations atmosphériques de CO₂ améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), c'est-à-dire que, pour une unité donnée d'absorption du CO₂, la perte d'eau est réduite (Long *et al.*, 2004). L'accroissement de l'EUE pourrait se révéler un facteur particulièrement important dans les endroits où l'eau est limitée, de sorte que la croissance des arbres pourrait se poursuivre là où elle se trouverait normalement gravement limitée étant donné les taux de concentration de CO₂ actuels. Johnston et Williamson (2005) ont trouvé que, même dans des conditions de sécheresse graves, l'accroissement de l'EUE dans un scénario de teneur élevée en CO₂ se traduirait par une hausse de la productivité par rapport aux conditions actuelles. Dans les expériences sur l'enrichissement en CO₂ atmosphérique libre (free-air CO₂ enrichment ou FACE), on expose les arbres à des concentrations de CO₂ environ deux fois supérieures à celles de la période préindustrielle. Dans l'une de ces expériences, une hausse initiale de la production primaire nette (PPN) a été observée chez le pin taeda, mais elle n'a duré que relativement peu de temps, soit trois à quatre ans, et ne s'est produite qu'en présence de taux d'éléments nutritifs et d'eau du sol relativement élevés (DeLucia *et al.*, 1999; Oren *et al.*, 2001). On a observé que les arbres réagissaient plus que les autres types de végétation à l'augmentation des taux de concentration de CO₂, leur production de biomasse s'accroissant alors en moyenne d'environ 20 p. 100 à 25 p. 100 (Long *et al.*, 2004; Norby *et al.*, 2005).

L'effet du changement climatique sur les régimes de perturbation pourrait être considérable. Dans la région des Prairies, on s'attend à ce que les incendies de forêt soient plus fréquents (Bergeron *et al.*, 2004) et plus intenses (Parisien *et al.*, 2004) et à ce qu'ils touchent de plus vastes superficies (Flannigan *et al.*, 2005), quoique l'ordre de grandeur de ces changements soit difficile à prévoir. On s'attend, en outre, à ce que les proliférations d'insectes soient plus fréquentes et graves (Volney et Fleming, 2000). Le dendroctone du pin ponderosa suscite une inquiétude particulière à l'intérieur de la Colombie-Britannique (voir le chapitre 8) parce que cette région en subit actuellement une infestation majeure. Le dendroctone du pin ponderosa a commencé sa progression vers l'est et, au printemps

2007, infestait déjà quelque 2,8 millions d'arbres en Alberta (Alberta Sustainable Resource Development, 2007). La présence de températures de -40 °C en hiver impose une limite à la prolifération de cet insecte; avec le réchauffement du climat, ces températures contraignantes devraient se manifester plus au nord et à l'est, ce qui permettra au dendroctone de s'étendre au pin gris dans les provinces des Prairies. L'aire de répartition du pin gris étant presque continue de l'Alberta au Nouveau-Brunswick, la propagation éventuelle du dendroctone à l'ensemble de la forêt boréale canadienne est un scénario possible (Logan *et al.*, 2003; Carroll *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 2005; Taylor *et al.*, 2006). L'effet à long terme des proliférations d'insectes sur l'aménagement forestier est difficile à prévoir, bien que l'on projette une mortalité accrue des arbres à la limite sud de la forêt boréale, en raison de l'interaction des insectes, des sécheresses et des incendies (Hogg et Bernier, 2005; Volney et Hirsch, 2005).

La fréquence accrue des perturbations dues aux incendies influera différemment sur les diverses espèces d'arbres, selon leur degré d'inflammabilité et leur capacité de régénération (Johnston, 1996). Certaines espèces de conifères sont de façon inhérente plus inflammables que les espèces de feuillus (Parisien *et al.*, 2004); le nombre accru d'incendies de forêt favorisera donc probablement les espèces de feuillus (p. ex., le peuplier) au détriment de certains conifères (p. ex., l'épinette blanche). Par conséquent, l'approvisionnement en bois des usines de panneaux à copeaux orientés du Canada, qui utilisent généralement comme matière première entre 90 p. 100 et 100 p. 100 de bois de feuillus (surtout du peuplier), ne serait pas aussi gravement touché par une augmentation des incendies de forêts que celui des scieries, qui dépendent des essences de conifères sujets aux incendies pour la production de bois d'œuvre.

Répercussions économiques et sociales

Les impacts du changement climatique à l'extérieur de la région auront des conséquences pour l'industrie forestière des Prairies. Étant donné l'importance des produits forestiers pour le secteur de la construction, l'augmentation des perturbations naturelles pourrait probablement stimuler le secteur des produits forestiers. Par exemple, le prix des panneaux de copeaux orientés a monté de plus de 50 p. 100 dans les semaines qui ont suivi l'ouragan Katrina, à l'automne 2005 (National Association of Home Builders, 2005). Aux endroits présentant les concentrations voulues d'eau et d'éléments nutritifs, l'augmentation de la croissance des arbres pourrait se traduire par une hausse de l'approvisionnement en bois, qui pourrait certes faire chuter les prix du marché, mais aussi offrir un avantage aux consommateurs (Sohngen et Sedjo, 2005). Par contre, les perturbations à grande échelle et le dépérissement des arbres pourraient réduire l'approvisionnement en bois, faisant ainsi monter les prix et entraînant des pénuries locales ou régionales de bois (Sohngen et Sedjo, 2005). Il pourrait s'ensuivre des fermetures d'usines, avec leur cortège d'effets économiques sur les petites collectivités tributaires de la forêt (Williamson *et al.*, 2005). Les changements dans la composition en espèces dus aux perturbations et aux conditions de croissance de l'avenir pourront amener les usines à modifier leur capacité de transformation et à introduire de nouveaux produits. Les coupes de récupération exécutées après les perturbations à grande échelle pourront fournir une quantité supplémentaire de biomasse ligneuse utilisable dans la production

de bioénergie, solution de choix envisagée en ce moment dans le cas des forêts infestées par le dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique (voir le chapitre 8; Kumar, 2005). Cependant, les effets des coupes de récupération intensives sur la fonction et la biodiversité des écosystèmes pourraient se révéler défavorables (Lindenmayer *et al.*, 2004).

4.3 TRANSPORTS

Dans les provinces des Prairies, le réseau de transports est étendu et varié. Le réseau routier public comprend plus de 540 000 km de routes équivalant à deux voies, soit 52 p. 100 du total national (Transports Canada, 2005). Environ 20 p. 100 de ce réseau est asphalté. Plusieurs milliers de kilomètres de chemins d'hiver (de glace) publics sont construits chaque année dans la région, la plupart au Manitoba, où quelque 2 300 km de chemins d'hiver donnent accès aux collectivités non desservies par des routes permanentes (Transports et Services gouvernementaux Manitoba, 2006). Le réseau ferroviaire (voir la figure 14) est aussi important pour la région et comprend une ligne qui se rend jusqu'au seul port de mer de la région, situé à Churchill, au Manitoba. En 2004, il y avait 51 aéroports en activité dans la région (Statistique Canada, 2004).



FIGURE 14 : Chemins de fer dans les environs de Red Deer River valley, près de Drumheller, en Alberta.

Le transport est un élément crucial de presque toutes les activités économiques et sociales, et les systèmes de transport sont très sensibles aux phénomènes météorologiques extrêmes (Andrey et Mills, 2003a). Étant donné que le changement climatique se traduira par des températures hivernales plus douces, il est probable que, durant la saison froide, une plus grande quantité de précipitations tomberont sous forme de pluie ou de pluie verglaçante. Une augmentation de la fréquence des épisodes de précipitations extrêmes (Kharin et Zwiers, 2000) et de la variabilité interannuelle du climat fera probablement croître les dommages causés aux routes, chemins de fer et autres ouvrages par les inondations, l'érosion et les glissements de terrain.

Certains changements climatiques pourront se traduire par des économies, notamment à la suite de la réduction du besoin de déneiger les routes, tandis que d'autres pourront conduire à

d'importants investissements de capitaux, notamment en raison des améliorations apportées à la gestion des eaux pluviales (IBI Group, 1990; Marbeck Resource Consultants, 2003). Étant donné que les conditions météorologiques constituent un élément clé d'un grand nombre de questions ayant trait à la sécurité liée au transport, dont les accidents d'automobile et d'aéronef, le changement climatique influera sur les risques associés au transport des gens et des marchandises et, peut-être, sur les coûts d'assurance connexes. La demande de transport pourra également être touchée, car de nombreux secteurs de la région qui dépendent du transport, comme l'agriculture, l'énergie et le tourisme, subiront eux aussi les effets du changement climatique.

Impacts sur les infrastructures

Chaque élément de l'infrastructure étendue et diversifiée du réseau de transports des provinces des Prairies doit être conçu, construit et entretenu avec soin afin d'assurer un niveau de sécurité et de fiabilité aussi convenable que possible pendant sa durée de vie théorique. Des coûts importants sont associés à l'infrastructure du transport, dont la plupart sont assumés par les administrations locales, municipales, provinciales et fédérales. Des entreprises et des sociétés privées font également des investissements majeurs dans cette infrastructure, notamment dans l'industrie des chemins de fer.

Sans aucun doute, le plus important effet néfaste du changement climatique sur l'infrastructure du transport dans les provinces des Prairies concerne les chemins d'hiver (voir l'étude de cas 4), ces voies d'accès qui représentent pour les collectivités éloignées un lien de sécurité vital sur les plans social, culturel et économique (Kuryk, 2003; Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006). Le coût de l'expédition de marchandises en vrac par voie aérienne est prohibitif. C'est pourquoi les menaces que représente un climat en évolution au regard du fonctionnement des chemins d'hiver sont source de préoccupation pour chacun des gouvernements provinciaux ayant pour mandat de fournir une infrastructure de transport de surface, ainsi que pour les collectivités desservies actuellement par ces chemins. Au cours de l'hiver 1997-1998, marqué par un épisode El Niño chaud, on a dépensé de 15 à 18 millions de dollars pour le transport aérien de fournitures à des collectivités éloignées du Manitoba et du nord de l'Ontario, parce que les chemins d'hiver ne pouvaient pas être construits ou entretenus pendant des périodes suffisantes (Paul et Saunders, 2002; Kuryk, 2003).

Par contraste, les hivers plus doux pourront entraîner des réductions substantielles des coûts associés aux infrastructures autres que les chemins de glace. Le temps froid et les cycles de gel-dégel fréquents sont une cause majeure de la détérioration des surfaces asphaltées et non asphaltées (Haas *et al.*, 1999). Dans le sud des provinces des Prairies, où l'on trouve la vaste majorité des surfaces routières permanentes, la réduction de la durée et de la rigueur de la saison de gel pourrait mener à des économies à long terme en termes de réparation et d'entretien. Cependant, les épisodes hivernaux de temps doux ou l'accroissement de la variabilité quotidienne des températures pourraient entraîner un accroissement de la fréquence des cycles de gel-dégel, du moins pendant quelques décennies, au fur et à mesure que les hivers se réchaufferont. En outre, dans certaines régions du nord, c'est le substrat gelé qui stabilise les routes asphaltées durant l'hiver, avantage que des hivers plus doux pourraient compromettre.

Chemins d'hiver dans le nord du Manitoba

Le plus grave impact négatif du changement climatique sur l'infrastructure de transport dans le nord des provinces des Prairies concerne les chemins d'hiver. Au Manitoba, où l'on construit la majorité des chemins d'hiver de la région, plus de 25 000 personnes de 28 collectivités ne sont desservies que par ces derniers (Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006), et on s'attend à ce que la population de ces collectivités double dans les 20 prochaines années. Quelque 2 300 kilomètres de chemins d'hiver sont construits chaque année afin d'assurer l'accès aux collectivités non desservies par des routes permanentes (Transports et Services gouvernementaux Manitoba, 2006).

Les chemins d'hiver constituent des voies de communication vitales entre les collectivités autochtones nordiques et d'autres parties du Canada. Ils représentent des liens de sécurité sociaux, culturels et économiques pour les collectivités éloignées puisqu'ils permettent la livraison des marchandises essentielles, notamment les aliments, les combustibles, les fournitures médicales et les matériaux de construction (Kuryk, 2003; Centre for Indigenous Environmental Resources 2006). Leur absence soulèverait également des problèmes de sécurité, car de nombreux habitants du Nord utilisent les chemins et pistes d'hiver pour la chasse, la pêche et les activités culturelles et récréatives (voir la section 4.4).

Dans son étude portant sur cinq Premières nations du Manitoba (celles de Barrens Land, de Bunibonabee, de Poplar River, de St. Theresa Point et de York Factory), le Centre for Indigenous Environmental Resources (2006) a signalé les principaux problèmes suivants :

Fiabilité des chemins d'hiver

Les membres des collectivités nordiques sont d'avis que les deux causes les plus communes du mauvais état des chemins d'hiver sont : 1) le temps plus doux (attribué à la fois aux cycles naturels et au changement climatique d'origine anthropique) et 2) des niveaux d'eau élevés qui fluctuent rapidement et sont accompagnés de forts courants (attribués aux ouvrages de régularisation des débits et au ruissellement naturellement abondant). Parmi les mauvaises conditions constatées figurent :

- une réduction de l'épaisseur et de la solidité de la glace;
- le retard des saisons permettant la construction de chemins d'hiver et leur plus courte durée;
- des quantités excessives de gadoue, de plaques de terre, de nids-de-poules, de glace suspendue et de poches de glace sur les chemins;
- le fait que les chemins tracés suivent un parcours moins direct que ceux qui traversent les plans d'eau.

On s'attend à ce que, en raison du changement climatique, la durée de la saison permettant les chemins d'hiver au Manitoba diminuera de huit jours dans les années 2020, de 15 jours dans les années 2050, et de 21 jours dans les années 2080 (Prentice et Thomson, 2003).

Défaillance des chemins d'hiver et gestion des cas d'urgence

Transports et Services gouvernementaux Manitoba (TSGM) a signalé une diminution de l'épaisseur de la glace, une texture et une densité médiocres de la glace, un retard de la saison permettant la construction des chemins d'hiver, des zones de muskeg problématiques et une réduction des limites de charge. Il y a eu des cas de matériel endommagé de façon irréparable par un seul trajet sur un chemin d'hiver. Les interventions d'urgence en cas de défaillance des chemins d'hiver, y compris le transport aérien des approvisionnements, sont coûteuses, comme on l'a déjà décrit pour l'hiver doux de 1997-1998.

Sécurité personnelle sur les chemins et pistes d'hiver et sur les plans d'eau gelés

Lorsque les saisons de chemins d'hiver sont courtes, certains membres des collectivités prennent des risques supplémentaires sur les chemins et pistes d'hiver et sur les plans d'eau gelés. Par exemple, un travailleur en construction de routes de la Première nation de Wasagamack s'est noyé en 2002 lorsque la niveleuse qu'il conduisait s'est enfoncée sous la glace.

Préoccupations pour la santé des personnes

L'accès aux centres de santé et autres formes d'aide médicale devient problématique lorsque les chemins et les sentiers d'hiver ne sont pas disponibles. De plus, les taux élevés de diabète dans les collectivités autochtones ont été liés à la difficulté de se procurer des aliments sains et

abordables, qu'ils proviennent de magasins ou de la nature. Le stress représente une autre cause de préoccupation en matière de santé découlant du raccourcissement des saisons de chemins d'hiver, puisque ce raccourcissement entraîne des pressions financières et l'isolement social.

Hausse du coût de la vie

Le transport par les chemins d'hiver réduit au minimum les coûts du carburant, des marchandises et des services. Le transport des marchandises par voie aérienne est de deux à trois fois plus coûteux que le transport de surface par les chemins d'hiver. On peut également bénéficier des prix plus bas offerts dans les grands centres accessibles par les routes toutes-saisons. Le coût des aliments est une question d'importance, puisque le taux de chômage dans les collectivités nordiques peut atteindre 80 p. 100 à 90 p. 100. La consommation de viandes et de poissons sauvages permet aux gens de contrebalancer le coût élevé des aliments achetés au magasin local, mais les hivers plus doux limitent leurs possibilités de récolter des aliments traditionnels (voir la section 4.4).

Diminution de la participation aux activités sociales et récréatives

Les chemins d'hiver, les sentiers d'accès et les plans d'eau gelés jouent un rôle social et culturel important au sein des collectivités nordiques. Ils permettent l'accès aux collectivités avoisinantes et aux grands centres pour le magasinage, la visite d'amis et de membres de la famille, les rencontres sociales (p. ex., pour les mariages, les naissances et les funérailles), la participation à des activités récréatives (p. ex., bingos, festivals et tournois de pêche) et les visites à des personnes âgées dans les hôpitaux ou les installations de soins.

En outre, les membres des collectivités utilisent les sentiers pour des randonnées récréatives. Ces dernières années, on a dû annuler certains tournois de pêche et carnivals d'hiver. Dans l'ensemble, les individus se sentent plus isolés de leurs amis et parents qui habitent des collectivités voisines lorsque les saisons de chemins d'hiver sont plus courtes et moins fiables. Des déplacements en hélicoptères sont possibles, mais la plupart des gens ne peuvent se permettre les tarifs élevés.

Entrave aux activités communautaires et au développement économique

Beaucoup d'activités économiques sont liées à l'accès que fournissent les terrains et les plans d'eau gelés. La glace trop mince et l'état médiocre des routes en hiver ont restreint certaines activités rémunératrices, notamment la pêche sur glace et l'exportation de ressources (p. ex., poissons et fourrures) destinées à être vendues dans les grands centres. Les chemins d'hiver permettent aux collectivités et entreprises d'acquiescer plus efficacement les marchandises et approvisionnements requis pour leurs activités régulières et les travaux d'entretien et de réparation. En outre, ils permettent aux Premières nations de tirer un revenu grâce aux contrats de construction et d'entretien des routes conclus avec TSGM. Ainsi, la durée et la période d'utilisation des chemins d'hiver peuvent avoir une incidence sur le développement économique, le logement, les immobilisations, les projets spéciaux et l'entretien du matériel.

Le Centre for Indigenous Environmental Resources (2006) a recommandé une gamme de mesures à prendre au niveau des collectivités et du gouvernement pour faire face aux problèmes causés par la détérioration des chemins d'hiver. Elles peuvent se résumer comme suit :

- Accroître la sécurité des chemins d'hiver (deux niveaux).
- Élaborer des plans d'action communautaire relatifs au changement climatique (collectivité) et fournir un appui à la mise en œuvre de ces plans (gouvernement).
- Élaborer une stratégie de communication (collectivité) et accroître les communications avec les autres Premières nations (gouvernement).
- Accroître les possibilités d'activités sociales, culturelles et récréatives (collectivité), et appuyer ces possibilités (gouvernement).
- Accroître la consommation des aliments locaux (collectivité) et appuyer cette consommation (gouvernement).
- Améliorer la sécurité des collectivités (deux niveaux).
- Augmenter les possibilités de financement des opérations communautaires (deux niveaux).

On s'attend à ce que les hausses de la température moyenne et l'augmentation de la fréquence des journées chaudes en été fassent monter le coût des infrastructures routières. Les surfaces couvertes d'asphalte, surtout celles sur lesquelles circulent beaucoup de camions lourds, sont en effet particulièrement susceptibles d'être endommagées durant les vagues de chaleur. Parmi les problèmes possibles figurent la formation d'ornières dans les surfaces ramollies ainsi que le ressuage de l'asphalte liquide à la surface des chaussées mal construites (Lemmen et Warren, 2004). La formation d'ornières s'avère le problème le plus grave et le plus coûteux à régler. Chacun de ces problèmes peut largement être évité grâce à une conception et à des méthodes de construction appropriées. On ne sait toujours pas de façon certaine quelle conséquence aura le plus d'importance dans la région : les économies attribuables à la réduction des dommages causés aux routes par le gel ou les coûts engendrés par les dommages plus fréquents causés aux routes en raison des températures estivales plus élevées.

Les coûts d'entretien de l'infrastructure des chemins de fer seront probablement réduits en raison des hivers plus doux. Les températures extrêmement basses font casser les traverses de chemins de fer, entraînent le mauvais fonctionnement des aiguillages et imposent un stress physique aux wagons. Une réduction des épisodes de temps extrêmement froid pourrait donc se traduire par une diminution des coûts associés à ces problèmes. En été, toutefois, les dommages causés aux rails par la dilatation thermique (Grenci, 1995; Smoyer-Tomic *et al.*, 2003) augmenteront probablement à mesure que les vagues de chaleur se feront plus fréquentes. De façon peut-être plus importante, il est probable que les lignes de chemin de fer septentrionales traversant des zones de pergélisol, comme celle qui dessert le port de Churchill dans le nord du Manitoba, nécessiteront des réparations importantes et fréquentes, ou même devront être déplacées, à cause de la dégradation du pergélisol (Nelson *et al.*, 2002).

La hausse du niveau de la mer aura des répercussions sur les rives de la baie d'Hudson (Overpeck *et al.*, 2006), même si la terre monte elle aussi en raison du fort taux de relèvement glacio-isostatique. Le port de Churchill et ses installations subiront peut-être une érosion plus fréquente et plus grave par l'eau et la glace, phénomène susceptible d'avoir des conséquences sur l'infrastructure de navigation. En revanche, l'allongement significatif de la saison d'eau libre dans la baie d'Hudson et les chenaux du nord dû à la poursuite du réchauffement climatique (Arctic Climate Impact Assessment, 2005) augmentera la possibilité que des navires océaniques puissent utiliser le port de Churchill comme point de départ et d'arrivée pour le transport du grain et d'autres marchandises en vrac (*voir* le chapitre 3).

Opérations et entretien

Le changement climatique risque d'avoir une incidence sur la disponibilité, les horaires, l'efficacité et la sécurité des services de transport (p. ex., Andrey et Mills, 2003b). Tous les modes de transport sont, au moins occasionnellement, non disponibles, ou leurs horaires sont perturbés, en raison de phénomènes d'ordre météorologique. La majorité des retards ou des annulations ainsi causés surviennent en hiver, habituellement en raison de fortes chutes de neige, de blizzards ou de pluie verglaçante, mais aussi de petites vagues de froid extrême. Comme les hivers plus doux seront associés à une diminution de ces vagues de froid, les retards associés à ce genre de phénomènes devraient être moins nombreux et durer moins longtemps. Certaines indications permettent de prévoir qu'un

climat plus doux entraînera une diminution du nombre et de l'intensité des blizzards (Lawson, 2003). Si tel est le cas, le secteur des transports pourrait réaliser des économies substantielles, en particulier les lignes aériennes et l'industrie du camionnage. Cette dernière doit souvent assumer des pénalités et des coûts importants associés aux retards dans l'expédition de divers produits, notamment les denrées périssables.

Un climat plus doux pourrait aussi se traduire par une baisse du nombre d'accidents, de blessures et de la mortalité liés aux intempéries (Mills et Andrey, 2002), particulièrement en hiver, si les chutes de neige deviennent moins intenses et moins fréquentes. Il existe une forte corrélation positive entre les accidents de la circulation et la fréquence des précipitations (Andrey *et al.*, 2003). On a déjà signalé une réduction du nombre de blizzards dans les Prairies (Lawson, 2003). Les chutes de neige contribuent pour beaucoup à la diminution de l'efficacité et de la sécurité de la circulation routière au Canada (Andrey *et al.*, 2003), et entraînent de grosses dépenses liées au déneigement des routes. Par exemple, durant l'hiver 2005-2006, le gouvernement du Manitoba a effectué des opérations de déneigement totalisant 1 455 193 kilomètres et de nivelage de la glace totalisant 220 945 kilomètres; près de 57 000 tonnes de sel de déglacage ont été appliquées sur les autoroutes provinciales; et 42 p. 100 des dépenses annuelles de 80 millions de dollars consacrées à l'entretien en hiver (Transports et Services gouvernementaux Manitoba, 2006). Par conséquent, des hivers plus doux accompagnés de moins de neige peuvent entraîner une réduction substantielle des coûts associés à l'enlèvement de la neige et de la glace des routes (p. ex., IBI Group, 1990; Jones, 2003), et l'application d'une quantité moindre de sel sur les routes glacées pourrait diminuer de beaucoup les dommages causés aux véhicules, aux ponts et à d'autres ouvrages en acier (Mills et Andrey, 2002). Toutefois, ces économies potentielles dépendent énormément de la température, et il se peut même que le nombre de jours durant lesquels il faudra appliquer du sel augmente s'il y a davantage de jours de pluie verglaçante.

Même si les quantités totales de précipitations ne changent pas considérablement, on reconnaît de façon générale que la fréquence des précipitations extrêmes augmentera (Groisman *et al.*, 2005), qu'une plus grande partie des précipitations hivernales tombera sous forme de pluie (Akinremi *et al.*, 1999) et que la répartition des précipitations au cours de l'année changera (Hofmann *et al.*, 1998). L'augmentation de la fréquence des précipitations extrêmes en été entraînera probablement une augmentation du nombre d'accidents de la route. Les précipitations intenses et l'excès d'eau ralentissent également les activités de transport. Par exemple, des précipitations accrues et plus intenses dans les montagnes augmenteront probablement l'incidence des inondations éclair et des coulées de débris (*voir* la section 3.3), ce qui perturbera les grands réseaux de voies de communication. Une augmentation de la fréquence des vents violents découlerait du nombre accru de tempêtes et causerait des retards et des risques pour les transports aériens.

4.4 COLLECTIVITÉS

La vulnérabilité des collectivités des Prairies au changement climatique varie selon leur capacité d'adaptation et leur exposition directe aux répercussions potentielles. Pour évaluer la capacité d'adaptation, il est nécessaire de prendre en considération les caractéristiques sociales, culturelles, économiques et

institutionnelles (voir le chapitre 2; Davidson *et al.*, 2003). Par le passé, les sociétés ont fait preuve d'une capacité remarquable à s'adapter aux conditions climatiques locales (Ford et Smit, 2003), mais des stress répétés ou continus, comme ceux que suscite le changement climatique, peuvent augmenter la vulnérabilité, en particulier lorsqu'ils surviennent en combinaison avec d'autres facteurs générateurs de stress et assez fréquemment pour empêcher le rétablissement.

Centres urbains

La majorité de la population des Prairies est concentrée dans quelques centres métropolitains dont la taille est cependant relativement petite, seule Calgary ayant une population approchant le million d'habitants. Dans l'ensemble, les grands centres urbains jouissent d'une capacité d'adaptation supérieure à celle des municipalités plus petites et des collectivités rurales. Les villes ont des infrastructures de communications et de transports bien développées; dans la plupart des cas, elles possèdent des réserves économiques et des capacités d'intervention en cas d'urgence bien développées, et elles ont tendance à avoir une plus grande influence politique (Crosson, 2001). Toutefois, dans une étude sur la capacité d'adaptation des villes dans les provinces des Prairies, on a constaté chez les décideurs un manque de connaissances et de sensibilisation quant aux répercussions possibles du changement climatique et à la nécessité de s'adapter (Wittrock *et al.*, 2001).

Les principaux effets du climat les plus préoccupants pour les villes des Prairies sont les phénomènes météorologiques extrêmes, les sécheresses, les maladies, le stress dû à la chaleur et la transformation graduelle de l'écologie des espaces verts urbains.

Phénomènes météorologiques extrêmes : La lutte contre les inondations constitue peut-être pour les zones urbaines la plus importante préoccupation d'ordre climatique (Wittrock *et al.*, 2001). Par le passé, les villes n'ont jamais été planifiées pour prévenir les inondations, de telle sorte que de nombreux quartiers sont situés dans des secteurs propices aux inondations et que les méthodes de gestion des risques en place s'avèrent souvent inadéquates. Les infrastructures actuelles de gestion de l'eau (système de stockage et de drainage) ne sont peut-être pas adaptées aux changements prévus dans les régions de précipitations et de fonte des neiges.

Sécheresses : En général, les villes sont plus protégées contre les effets des sécheresses que les collectivités rurales, car elles sont dotées d'infrastructures d'acquisition et de stockage d'eau plus perfectionnées. Néanmoins, les augmentations prévues de l'ampleur et de la fréquence des sécheresses influenceront certainement sur les approvisionnements en eau et sur l'utilisation de cette dernière dans les villes des Prairies, et souligneront l'importance des initiatives de gestion efficace de l'eau.

Stress thermique : Dans les villes, le stress thermique associé à la hausse des températures planétaires est aggravé par les effets d'« îlot de chaleur » (p. ex., Arnfield, 2003). Bien que les températures les plus élevées du Canada l'on ait enregistré dans les Prairies, celles-ci sont rarement associées à un taux d'humidité élevé. C'est pourquoi on n'a adopté que relativement peu de politiques et de technologies de lutte contre le stress thermique, comme les systèmes d'air climatisé résidentiels et les abris urbains. De plus, les villes des Prairies, ne connaissant pas les niveaux de pollution atmosphérique typiques des centres urbains de l'Ontario et du Québec, ne sont pas susceptibles de subir les effets cumulatifs du stress thermique et d'une forte pollution atmosphérique (voir les chapitres 5 et 6). Malgré tout, les journées de chaleur extrême sont des événements de grande portée dans les villes des Prairies, surtout pour les populations les plus vulnérables.

Espaces verts : Les espaces verts urbains sont vulnérables à la fois aux changements à long terme des températures moyennes et des précipitations, ce qui rend les espèces existantes peu adaptées aux nouvelles tendances du climat, et à des phénomènes plus graves comme les sécheresses, lesquels peuvent soumettre la végétation et la faune sauvage à un stress intense. L'une des dépenses qu'ont dû assumer les villes des Prairies au cours du plus récent épisode de sécheresse (2000 à 2002) a été la perte d'arbres ornementaux. Par exemple, la ville d'Edmonton a estimé avoir perdu environ 23 000 arbres pour cause de sécheresse depuis 2002, mais ses ressources lui permettent de n'en remplacer que 8300.

Collectivités rurales

En Saskatchewan et au Manitoba, respectivement 36 p. 100 et 28 p. 100 de la population vivent dans des collectivités rurales. L'Alberta est plus urbanisée, avec seulement 19 p. 100 de sa population qui vit en régions rurales. Certaines collectivités rurales connaissent actuellement une croissance démographique et économique rapide, tandis que d'autres, en particulier de nombreuses collectivités agricoles du sud des Prairies, sont en déclin. Peu de collectivités rurales ont accès au même niveau de ressources que les villes en matière de gestion des catastrophes (p. ex., dans les cas de programmes d'intervention en cas d'urgence et de soins de santé). Pour les collectivités nordiques éloignées, le transport de matériaux et d'approvisionnement vers une collectivité ou le transport de leurs résidents vers l'extérieur en cas de danger sont des facteurs limitatifs à cause du petit nombre de voies de transport. De plus, dans une petite ville, même un phénomène dangereux de faible envergure peut s'avérer catastrophique à l'échelle locale, simplement parce qu'il risque probablement de toucher une plus grande proportion de la population (« l'effet de la proportionnalité »; Mossler, 1996).

En général, les collectivités rurales sont plus sensibles que les villes aux répercussions du changement climatique, en grande partie à cause de leur dépendance économique envers les secteurs des ressources naturelles et de leur manque de possibilités de diversification économique. Plus de 25 p. 100 des emplois dans les collectivités rurales canadiennes se trouvent dans les industries primaires, et une proportion beaucoup plus grande de la main-d'œuvre dépend indirectement de ces industries. Dans la région des Prairies, 78 p. 100 des emplois liés aux ressources se trouvent dans le secteur agricole (Stedman *et al.*, 2005). De nombreuses collectivités rurales des Prairies subissent déjà un stress dû à la fois à des phénomènes climatiques, comme la sécheresse de 2001-2002, et à des facteurs non climatiques tels que le problème du commerce du bois d'œuvre résineux et les épizooties d'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Ces collectivités se caractérisent donc simultanément par un éventail réduit de possibilités d'adaptation – à mesure que les réserves de capitaux financiers et de capital social des collectivités et des ménages sont épuisées – et par une probabilité réduite qu'elles s'engagent dans un processus de planification proactive, le changement climatique étant relégué à l'arrière-plan par d'autres facteurs de stress plus immédiats.

La majorité des collectivités rurales de la région sont situées dans l'écozone des Prairies. Les risques et les possibilités des collectivités agricoles sont fortement liés aux effets du changement climatique sur l'agriculture, tels que décrits à la section 4.1. Les répercussions les plus préoccupantes sont les phénomènes météorologiques extrêmes, les sécheresses et les changements survenant dans les écosystèmes. Les sécheresses sont particulièrement préoccupantes, car les collectivités rurales dépendent essentiellement de l'eau de puits et de petits réservoirs qui peuvent se tarir durant une sécheresse grave. L'on s'entend pour reconnaître que le secteur agricole jouit d'une capacité

d'adaptation relativement élevée, tant à l'échelle de la ferme que globalement. En raison de la récente restructuration agricole et de la tendance à l'expansion des exploitations, de nombreuses collectivités ont connu un exode important des plus jeunes membres de leur population, de telle sorte que l'âge moyen des agriculteurs canadiens est maintenant de 55 ans (Voaklander *et al.*, 2006). Il se peut qu'une population agricole vieillissante soit moins innovatrice en termes de volonté d'appliquer de nouvelles mesures d'adaptation; par contre, les exploitations d'envergure industrielle, qui ont accès à plus de capitaux, n'ont pas nécessairement le même niveau d'engagement envers la durabilité des collectivités rurales.

Les collectivités forestières, principalement dans l'écozone boréale, forment une petite proportion des collectivités rurales, le secteur forestier fournissant environ 2 p. 100 des emplois régionaux dans les provinces des Prairies (Stedman *et al.*, 2005). L'industrie forestière est beaucoup plus importante en Alberta qu'au Manitoba ou en Saskatchewan. Étant donné les répercussions potentielles du changement climatique sur les écosystèmes forestiers (voir la section 3.2) et sur l'exploitation forestière commerciale (voir la section 4.2), les collectivités forestières feront face à un degré élevé d'incertitude (Mendis *et al.*, 2003). En outre, une partie de leur vulnérabilité pourrait tenir au manque relatif de souplesse de l'industrie forestière moderne, en particulier dans les Prairies, où ce secteur en est à ses débuts. La région est caractérisée par de vastes superficies d'aménagement forestier gérées selon des horizons de planification décennaux et par des installations de transformation modernes de grande capacité qui ne conviennent peut-être qu'à une ou deux essences. À l'instar des autres collectivités rurales, les collectivités forestières se trouveront peut-être aussi gravement limitées dans leur capacité d'intervention en cas d'urgence. De nombreuses collectivités forestières sont en outre situées dans des régions éloignées où l'accès aux transports est limité, ce qui peut constituer un problème si des phénomènes météorologiques extrêmes ou des incendies de forêt rendent inutilisables leurs voies de transport principales.

Les collectivités fondées sur l'exploitation des ressources minières et énergétiques, sises principalement dans les écozones boréale et de la taïga, pourraient s'avérer vulnérables, étant donné les répercussions du changement climatique sur ces secteurs (voir la section 4.6). Des réductions prévues dans les approvisionnements en eau suscitent des préoccupations particulières, car de nombreux procédés utilisés dans ces secteurs dépendent fortement de la disponibilité de l'eau. Parmi les autres facteurs figurent les perturbations de l'alimentation en électricité et des réseaux de transport qui desservent les collectivités éloignées du Nord. La croissance démographique rapide de certaines collectivités fondées sur l'exploitation de l'énergie, notamment Fort McMurray, en Alberta, pourrait les rendre plus vulnérables au changement climatique, car la demande a déjà dépassé les capacités de tous genres d'infrastructures en place, y compris les logements répondant à des normes minimums. Il se peut que les ressources en services sociaux soient sursollicitées, en particulier lorsque nombre des nouveaux arrivants proviennent de contextes culturels divers. Par conséquent, la capacité d'intervenir en cas de phénomènes météorologiques extrêmes, d'incendies de forêt et de problèmes sanitaires est un souci de taille. Cette croissance rapide a aussi des effets nuisibles sur l'intégration sociale et la satisfaction des collectivités, facteurs qui peuvent tous deux avoir une incidence sur la capacité de réagir à des crises imprévues. Les collectivités ayant une population stable ont en effet tendance à mieux surmonter de telles situations.

Dans plusieurs collectivités des Prairies, l'économie dépend beaucoup du tourisme et des activités récréatives basées sur la nature. Les répercussions économiques potentielles du changement climatique sur

le tourisme seront les plus prononcées en Alberta dont l'industrie touristique a généré en 2005 plus de 4,96 milliards de dollars en recettes (Alberta Economic Development, 2006), principalement grâce aux touristes canadiens et étrangers qui visitent les parcs nationaux des Rocheuses canadiennes. La ville de Banff, à elle seule, a reçu chaque année entre 3 et 5 millions de visiteurs durant la dernière décennie (Service Alberta, 2005). Le tourisme en milieu naturel et les collectivités qui dépendent de cette industrie doivent maintenant relever plusieurs défis vu les effets du changement climatique sur les écosystèmes (voir la section 3.2) et sur les activités récréatives qui se déroulent à l'extérieur (voir la section 4.7). Les parcs les plus gravement touchés par les répercussions économiques sont les îlots de forêt (voir l'étude de cas 1) et les petites zones récréatives du sud des Prairies, où l'eau et les arbres qui attirent les visiteurs sont particulièrement sensibles à un climat en évolution (voir la figure 15).



FIGURE 15 : Terres humides des Prairies.

Les collectivités autochtones enregistrent les taux de pauvreté et de chômage les plus élevés de toutes les provinces des Prairies. Environ la moitié de la population autochtone de cette région vit dans les villes. Le reste vit dans les territoires traditionnels ou à proximité; or, ces territoires sont directement exposés aux répercussions du changement climatique sur les écosystèmes, l'eau et les ressources forestières (voir l'étude de cas 5). En outre, nombre de collectivités autochtones ont comme moyens d'existence, du moins en partie, les activités de subsistance, car les approvisionnements en aliments traditionnels complètent leur régime dans une mesure beaucoup plus importante que chez les populations non autochtones. Les effets du changement climatique ayant des conséquences sur la flore et la faune, une baisse de la disponibilité des orignaux, des caribous, des cerfs, des poissons et du riz sauvage, ou l'incertitude quant à leur disponibilité au cours d'une année donnée, augmentera la dépendance envers les aliments importés, ce qui aura pour les résidents des répercussions économiques et sur le plan de la santé. Ces derniers se disent déjà préoccupés par une réduction de leurs activités de subsistance due aux difficultés qu'ils ont à accéder aux terres des réserves et aux territoires traditionnels en hiver. De mauvaises conditions de neige et de terrain peuvent nuire grandement aux déplacements effectués à pied ou en motoneige pour se rendre aux territoires de piégeage, de chasse et de pêche. Ces collectivités signalent que la baisse de niveau de ces activités traditionnelles est liée à des préoccupations concernant la sécurité des personnes.

Moyens d'existence traditionnels des Premières nations et changement climatique : Forum des Aînés du Grand conseil de Prince Albert (GCPA), février 2004

Les Autochtones de la région des Prairies, les Aînés en particulier, font part de leurs connaissances sur le changement climatique, surtout dans les régions nordiques où les activités de subsistance demeurent liées au territoire. De récentes initiatives indiquent que la collaboration entre les chercheurs et les collectivités autochtones est de plus en plus nécessaire pour comprendre les questions de changement climatique et y faire face. Lors du Forum des Aînés du Grand conseil de Prince Albert (GCPA) sur le changement climatique, tenu en février 2004 (Ermine *et al.*, 2005), qui reposait sur le principe d'apprentissage respectueux et les protocoles traditionnels, les Aînés de la région du GCPA ont pu mettre en commun, entre eux et avec les membres du milieu de la recherche, des informations sur le changement climatique. De façon générale, les observations des Aînés du GCPA ont renforcé, confirmé ou amélioré les observations scientifiques. Les Aînés ont partagé les éléments de la sagesse collective accumulée par des générations de leurs ancêtres ayant vécu à des endroits précis; ces informations viennent étayer les points de vue des scientifiques sur les impacts du changement climatique et l'adaptation. Les Aînés considèrent le changement climatique comme un processus plus vaste qui englobe aussi les aspects socioculturels de leur vie. Ils ont parlé avec une voix empreinte d'émotion du territoire, rendant hommage à un moyen d'existence qui assure leur santé et leur bien-être, notamment grâce au piégeage, à la chasse et à la pêche.

Observations des changements et des répercussions

Les Aînés sont conscients que la variabilité annuelle fait partie des tendances normales de la nature. Cependant, ils ont identifié plusieurs tendances préoccupantes, notamment :

- Des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les tornades et la grêle, se manifestent plus fréquemment ces dernières années.
- Les changements observés dans les caractéristiques saisonnières sont plus préoccupants que les événements climatiques isolés et révèlent que le changement climatique est un problème grave. Par exemple, ils ont remarqué que les conditions saisonnières de l'été et de l'automne se prolongent jusqu'aux mois « d'hiver » habituels.
- Récemment, ils ont remarqué que les étés sont anormalement secs et que les pluies n'ont pas d'effet appréciable sur les niveaux d'humidité.
- La quantité et la qualité de l'eau se détériorent sur leurs territoires, en partie à cause de l'activité humaine.
- Un déséquilibre général de la nature, visible à l'état de la flore et de la faune et déduit à partir de comportements anormaux de la faune sauvage, comporte des changements liés aux habitudes migratoires et aux aires de répartition des populations sur leurs territoires.

- De nouvelles espèces commencent à habiter des régions où on ne les avait encore jamais vues; notamment, des oiseaux rarement observés se font plus fréquents, et des animaux (p. ex., les cougars et les cerfs de Virginie) s'aventurent dans des régions éloignées de leurs aires de répartition habituelles.
- La chaleur plus forte de l'été affecte la santé des enfants et des personnes âgées.
- L'imprévisibilité du temps influe sur leur état de préparation aux activités extérieures.
- Les plantes, dont les arbres et les arbustes à petits fruits, souffrent de la chaleur et des sécheresses qui l'accompagnent, de telle façon que les produits utiles qu'ils en tirent ne sont plus aussi abondants.
- La diminution de la qualité et de l'épaisseur du pelage d'hiver des animaux à fourrure a de sérieuses répercussions sur le moyen d'existence des gens du Nord qui pratiquent le piégeage.

Adaptation et capacité d'adaptation

Les Aînés reconnaissent que les tendances du climat font partie de l'existence. Ils ont toujours vécu au gré de la nature. Selon eux, les prophéties étaient un mécanisme traditionnel d'adaptation, car elles préparaient les gens pour l'avenir. À titre d'exemple, un Aîné a décrit les comportements des abeilles qui présagent du type d'hiver auquel il faut s'attendre. Le comportement des animaux est minutieusement observé et utilisé comme base des prédictions.

Le maintien des liens avec le territoire et l'environnement constitue un élément de base important qui contribue à la santé des individus et des collectivités. Lorsque les gens perdent le contact avec le territoire, les voies de communication entre le milieu naturel et le milieu social s'en trouvent coupées. Les Aînés ont fait part de leur conviction profonde qu'il est de leur responsabilité de conserver et de protéger la terre pour les générations à venir. Ils ont exprimé le souhait de prendre les mesures qui s'imposent, mais ils se sont posé des questions quant à leur capacité d'avoir une incidence sur les activités des sociétés industrielles. Le besoin de coopération entre les divers secteurs de la société a été fortement souligné. Le forum lui-même était considéré comme un élément de la solution, et les Aînés ont dit apprécier la participation des scientifiques occidentaux à la discussion sur le changement climatique.

Les Aînés se sont volontairement abstenus de formuler des résolutions et des recommandations officielles. Ils estiment que leur rôle est de renforcer leurs propres collectivités locales et leurs connexions culturelles avec le territoire, particulièrement en travaillant avec les jeunes. L'un des résultats du Forum des Aînés concerne la façon dont le changement climatique est perçu. Dans la perspective des Aînés, les changements mondiaux ont été isolés et étiquetés prématurément par les scientifiques occidentaux comme étant la principale dimension du « changement climatique », ce qui a eu pour effet de faire abstraction, dans une large mesure, de la dimension humaine de la question. La valeur de leur perspective est qu'elle rétablit l'élément humain parmi les priorités, tant au chapitre des répercussions qu'à celui de la responsabilité.

4.5 SANTÉ

La santé et le bien-être humains sont étroitement liés aux conditions climatiques et météorologiques. Avec le changement climatique, les populations des Prairies pourront subir une charge supplémentaire d'effets néfastes sur la santé dus à la pollution atmosphérique, aux intoxications alimentaires, aux maladies liées à la chaleur, à une mauvaise santé mentale, aux particules, aux agents pathogènes d'origine hydrique et aux maladies à transmission vectorielle (Seguin, *sous presse*). Les sous-populations dont la santé

est le plus à risque sont les enfants, les personnes âgées, les Autochtones, les personnes de faible statut socio-économique, les sans-abri et les personnes souffrant déjà de problèmes de santé.

Parmi les aspects du climat en évolution qui agissent directement ou indirectement sur la santé et le bien-être des habitants des Prairies figurent les sécheresses, les inondations, l'évolution des écosystèmes et la hausse des températures.

Sécheresses

Les sécheresses réduisent le volume des eaux de surface et provoquent ainsi une augmentation des concentrations d'agents pathogènes et de toxines dans les approvisionnements en eau à usage domestique (Charron *et al.*, 2003; Organisation mondiale de la santé, 2003). Elles augmentent la production de poussières provenant de sources à ciel ouvert (p. ex., les routes non asphaltées, les champs et les incendies de forêt), responsables de 94 p. 100 des émissions de particules au Canada (Smoyer-Tomic *et al.*, 2004). Le principal effet sur la santé de l'inhalation de poussières est l'inflammation des voies respiratoires dont les manifestations incluent l'asthme, les rhinites allergiques, les bronchites, la pneumopathie d'hypersensibilité et le syndrome toxique des poussières organiques (do Pico, 1986; Rylander, 1986; do Pico, 1992; Lang, 1996; Simpson *et al.*, 1998).

Les sécheresses empirent les feux de forêt (Smoyer-Tomic *et al.*, 2004), qui sont associés à l'augmentation du nombre d'affections respiratoires, de visites à l'hôpital et de la mortalité (Bowman et Johnston, 2005), et aux frais qui en découlent (voir Rittmaster *et al.*, 2006). Les incendies de forêt peuvent également imposer un stress sur la santé mentale, à cause des évacuations et des déplacements faits à la hâte (Soskolne *et al.*, 2004). Au cours d'un incendie de forêt survenu en mai 1995, le seul accès routier à Fort McMurray a été bloqué, ce qui a rendu difficile le transport des cas d'urgence médicale et de certaines fournitures (Soskolne *et al.*, 2004).

Les sécheresses sont également des sources de détresse pour le monde agricole, surtout en raison des problèmes financiers qu'elles entraînent (Olson et Schellenberg, 1986; Walker *et al.*, 1986, May 1990; Ehlers *et al.*, 1993; Deary et McGregor, 1997). Le stress subi dans les emplois agricoles ne touche pas seulement les agriculteurs; il se répercute aussi sur leur vie familiale (Plunkett *et al.*, 1999).

Inondations

Les inondations peuvent créer des conditions favorables à l'explosion des populations de vecteurs porteurs de maladies, notamment les moustiques et les rongeurs. Des proliférations de maladies d'origine hydrique ont été liées à des précipitations intenses, à des inondations et au ruissellement provenant de zones d'élevage de bétail (Millson *et al.*, 1991; Bridgeman *et al.*, 1995; Charron *et al.*, 2003; 2004; Schuster *et al.*, 2005). Dans une étude de cas de référence réalisée dans le sud de l'Alberta, Charron *et al.* (2005) ont trouvé que chaque journée de pluie supplémentaire survenant au cours des 42 jours qui la précèdent augmentait le risque d'hospitalisation pour troubles gastro-intestinaux. Cependant, si le nombre de journées de pluie dépassait 95 p. 100 durant cette même période, les probabilités d'hospitalisation diminuaient, possiblement en raison de la dilution ou de la disparition des agents pathogènes. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus dans une étude de cas réalisée en Ontario (Charron *et al.*, 2005), ce qui semble indiquer que les différences régionales jouent un rôle important lorsqu'il s'agit d'établir l'effet possible du changement climatique sur les maladies d'origine hydrique.

Il est peu probable que les débordements lents des cours d'eau entraînent la mortalité, mais ils ont néanmoins des effets majeurs sur la santé sous forme de problèmes d'ordre psychologique à long terme (Phifer *et al.*, 1988; Phifer, 1990; Durkin *et al.*, 1993; Ginexi *et al.*, 2000; Tyler et Hoyt, 2000) ou de problèmes d'ordre physique dus à la présence de moisissures et de mildiou et du risque d'affections respiratoires associées à des taux d'humidité extrêmement élevés

(Square, 1997; Greenough *et al.*, 2001). Le fait de perdre une maison, d'être témoin de sa destruction, d'être évacué sans préavis ou d'être déplacé pendant une longue période est une grande source d'anxiété (Soskolne *et al.*, 2004). Les inondations entraînent des pertes économiques qui, à leur tour, créent du stress et des souffrances pour ceux qui les subissent. Ne pas savoir avec certitude qui va assumer les pertes est également une cause de stress (Soskolne *et al.*, 2004).

Écosystèmes en évolution et maladies à transmission vectorielle

Les hantavirus, transmis à l'homme par l'inhalation d'aérosols qui en contiennent, proviennent des excréments et de la salive des rongeurs (Stephen *et al.*, 1994; Gubler *et al.*, 2001), et causent chez l'homme le syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH). La souris sylvestre est le rongeur le plus souvent associé au SPH (Stephens *et al.*, 1994; Glass *et al.*, 2000). Entre 1989 et 2004, 44 cas de SPH ont été diagnostiqués, tous dans l'ouest du Canada et la majorité (27) en Alberta (Agence de santé publique du Canada, 2006). Le taux de mortalité se situe entre 40 p. 100 et 50 p. 100 (Agence de santé publique du Canada, 2001). Les cas de SPH chez l'homme semblent correspondre aux fluctuations annuelles et saisonnières des densités de populations de rongeurs (Mills *et al.*, 1999). Les explosions de populations de rongeurs ont été liées à des hivers humides et doux ainsi qu'à des pluies supérieures à la moyenne suivies de sécheresses et de températures au-dessus de la moyenne (Engelthaler *et al.*, 1999; Gubler *et al.*, 2001), soit des conditions climatiques qui devraient, selon les projections, se manifester de plus en plus fréquemment dans les provinces des Prairies (voir la section 2.5).

Le virus du Nil occidental (VNO) est transmis à partir de ses réservoirs aviaires naturels par les moustiques (principalement du genre *Culex*). Les conditions climatologiques qui favorisent le VNO sont les hivers doux combinés à de longues vagues de sécheresse et de chaleur (Epstein, 2001; Huhn *et al.*, 2003). Le moustique *Culex* peut hiverner dans l'eau stagnante des réseaux d'égout urbains, et la chaleur a tendance à accélérer le développement du virus dans le moustique (Epstein, 2001). Les provinces des Prairies ont enregistré un nombre disproportionné de cas de VNO, soit 91,2 p. 100 des 1 478 cas documentés au Canada en 2003 (Agence de santé publique du Canada, 2004a). En 2004 et 2005, le pourcentage de cas cliniques enregistrés dans ces provinces était respectivement de 36 p. 100 des 25 cas diagnostiqués au Canada, et de 58,6 p. 100 des 210 cas enregistrés au Canada (Agence de santé publique du Canada, 2004b, c). Heureusement, la majorité (80 p. 100) des personnes infectées par le VNO sont asymptomatiques, les symptômes graves (p. ex., coma, tremblements, convulsions, perte de vision) ne se manifestant que chez environ une personne infectée sur 150 (Centers for Disease Control and Prevention, 2005).

Même si l'on s'attend à ce que la maladie de Lyme constitue un important problème de santé publique dans l'est du Canada, les provinces des Prairies demeureront probablement trop sèches pour que la situation y soit comparable. Parmi les autres maladies concernées par le changement climatique ou par le changement des écosystèmes qui l'accompagne et susceptible de présenter un danger pour la santé dans les Prairies, on peut citer l'encéphalite équine de l'Ouest, la rage, la grippe, la brucellose, la tuberculose et la peste (Charron *et al.*, 2003). Ces maladies ont soit un réservoir animal et ont causé des cas connus chez les humains, soit elles ont sévi par le passé dans les provinces des Prairies et sont sensibles aux changements du climat (Charron *et al.*, 2003).

Températures au-dessus de la moyenne

La hausse des températures pourrait faire augmenter le nombre d'intoxications alimentaires, car les étés plus chauds et plus longs entraînent une accélération de la croissance des bactéries, ainsi que la survie de ces espèces et de leurs vecteurs (p. ex., les mouches; Bentham et Langford, 2001; Rose *et al.*, 2001; Hall *et al.*, 2002; D'Souza *et al.*, 2004; Kovats *et al.*, 2004; Fleury *et al.*, 2006). Fleury *et al.* (2006) ont confirmé les cas d'intoxications alimentaires survenus en Alberta et ont trouvé une association positive entre la température ambiante et ces intoxications pour tous les décalages (0 à 6 semaines) et pour chaque degré de dépassement de la température hebdomadaire au-dessus du seuil (0 à 10 °C). Selon le type d'agent pathogène, le risque d'infection relatif est passé de 1,2 p. 100 à 6,0 p. 100.

Des températures plus élevées accroissent la production de polluants secondaires, y compris l'ozone troposphérique (Last *et al.*, 1998; Bernard *et al.*, 2001). Bien que les villes des Prairies présentent des concentrations de polluants atmosphériques relativement faibles (Burnett *et al.*, 1998; Duncan *et al.*, 1998), les niveaux de pollution actuels ont bel et bien une incidence sur les taux de morbidité et de mortalité (Burnett *et al.*, 1997, 1998). Les personnes âgées, celles qui sont déjà atteintes de troubles médicaux et les enfants sont les individus qui courront probablement le plus de risques en raison du changement climatique, de la croissance démographique et de l'augmentation des concentrations de polluants dans les grandes agglomérations (Last *et al.*, 1998). Des températures hivernales plus élevées feront diminuer le nombre de décès liés au froid. En règle générale, il y a plus de gens qui meurent en hiver qu'en été, principalement à cause de maladies infectieuses (p. ex., la grippe) ou de crises cardiaques (McGeehin et Mirabelli, 2001).

Vulnérabilité économique

La vulnérabilité économique au changement climatique touche indirectement la santé et le bien-être. Elle précède souvent les conséquences des phénomènes météorologiques extrêmes sur la santé. Les pertes économiques, en particulier celles qui dépassent les moyens financiers des personnes qui les subissent, représentent une source majeure de stress. La vulnérabilité économique est étroitement liée à la capacité des individus à acheter des assurances, à leur statut socio-économique ainsi qu'à la richesse et aux ressources des collectivités et des gouvernements.

La perte d'une propriété au cours d'un phénomène extrême est coûteuse, car ce ne sont pas toutes les pertes qui sont protégées par une assurance ou des programmes d'aide gouvernementaux (Soskolne *et al.*, 2004). Les stress financiers associés aux catastrophes touchent le plus les familles ayant un faible statut socio-économique et les personnes âgées à revenu fixe, qui sont le moins capables de se permettre des assurances ou d'assumer le coût des dommages et qui sont le plus susceptibles de vivre dans des secteurs vulnérables. Dans l'avenir, ces groupes pourraient être encore moins en mesure d'acheter des assurances et d'assumer le coût de s'adapter aux phénomènes météorologiques extrêmes. Les programmes d'aide aux sinistrés victimes de sécheresses tentent de couvrir les pertes de récoltes non assurées, mais ils ne couvrent que rarement les investissements faits au début de la saison, ce qui augmente la dette personnelle. L'incapacité à rembourser une dette a tendance à susciter des pressions financières accrues, qui causent à leur tour de la dépression, du stress et même des suicides (Soskolne *et al.*, 2004).

La vulnérabilité de la santé de certains segments de la société à ces menaces varie en fonction de leur démographie, de l'emplacement et des infrastructures de la collectivité, de leur état de santé et de circonstances régionales, socio-économiques ou culturelles (Smit *et al.*, 2001). Ces populations vulnérables assumeront probablement une part disproportionnée du fardeau des coûts économiques futurs et des conséquences néfastes au chapitre de la santé. Le tableau 11 présente un résumé de ces diverses populations et explique le danger que les effets sur la santé sensibles au climat représentent pour elles.

Il y aura probablement, pour le système public de soins de santé, des coûts supplémentaires qui seront attribuables aux coûts des traitements (p. ex., les médicaments ou les visites aux salles d'urgence) ou aux coûts nécessaires pour circonscrire diverses maladies, pour le dépistage, pour le contrôle et la surveillance des collectivités et pour les interventions.

4.6 ÉNERGIE

Le changement climatique aura un effet sur l'industrie pétrolière dans les provinces des Prairies, car il aura une incidence sur les activités d'exploration et de production, sur la transformation et le raffinage, et sur le transport, l'entreposage et la livraison. Les principales variables climatiques préoccupantes sont la hausse des températures, le changement dans les régimes de précipitations et les phénomènes extrêmes (Huang *et al.*, 2005). Le facteur le plus préoccupant est, et restera, la rareté de l'eau, car la production actuelle de pétrole, et même d'une certaine quantité de gaz naturel, exige des quantités importantes de cette ressource (Bruce, 2006).

Dans le nord de la région des Prairies, la plupart des programmes d'exploration et de forage sont réalisés en hiver, lorsqu'il est facile de traverser les zones où les sols et les terres humides sont gelés et que les chemins d'hiver fournissent des voies comparativement peu coûteuses permettant aux transports lourds de traverser le territoire boréal. Alors que des hivers plus doux et plus courts rendront peut-être le travail à l'extérieur moins dangereux du point de vue de la santé et de la sécurité, ce modeste avantage sera annulé par les augmentations des coûts découlant du raccourcissement des saisons de travail hivernal.

Le réchauffement cause déjà, dans de nombreux secteurs du Nord, une dégradation substantielle du pergélisol (*voir* le chapitre 3; Majorowicz *et al.*, 2005; Pearce, 2005) qui entraînera une instabilité du terrain, un effondrement du sol et des glissements de pente. Ces effets, combinés à une fréquence accrue des phénomènes climatiques extrêmes, créeront des problèmes pour les infrastructures, comme les fondations des bâtiments, les réseaux routiers et de pipelines, susceptibles d'entraîner des ruptures de pipelines et des coûts supplémentaires pour réinstaller les pipelines actuels dans des endroits plus stables (Huang *et al.*, 2005).

Étant donné que les étés seront plus longs et plus chauds, les possibilités de fuites par vaporisation augmenteront dans le secteur du raffinage. Il faudra donc disposer d'une capacité de refroidissement plus élevée au moment justement où les apports locaux et régionaux en eau – un liquide de refroidissement clé – se réchaufferont au-delà des pics de température recueillis jusqu'ici. Ces changements pourraient perturber les activités des raffineries pour des raisons de sécurité, d'environnement ou de santé, toutes susceptibles d'entraîner des pertes économiques (Huang *et al.*, 2005).

TABLEAU 11 : Populations des Prairies ayant une plus grande vulnérabilité au changement climatique.

Populations vulnérables	Caractéristiques de l'augmentation de la vulnérabilité	Températures plus élevées et vagues de chaleur	Sécheresses	Phénomènes hydrologiques extrêmes	Changements dans les écosystèmes
Personnes âgées	<ul style="list-style-type: none"> - Plus susceptibles de souffrir déjà de troubles médicaux (<i>voir ci-dessous</i>) - Isolement social et réseaux sociaux moins nombreux - Plus sujettes aux intoxications alimentaires - Revenus fixes - Les gens âgés de plus de 50 ans courent plus de risques de développer des cas graves de virus du Nil occidental 	X	X	X	X
Enfants	<ul style="list-style-type: none"> - Les systèmes corporels immatures et la croissance rapide peuvent accroître la toxicité et la pénétration des polluants, diminuer la capacité de thermorégulation et accroître la vulnérabilité aux intoxications alimentaires et aux maladies d'origine hydrique - L'exposition par unité de poids corporel est supérieure à celle des adultes - Dépendent des fournisseurs de soins adultes - Capacité d'adaptation plus faible 	X	X	X	
Personnes souffrant déjà de troubles médicaux	<ul style="list-style-type: none"> - Les troubles cardiovasculaires et respiratoires augmentent les risques - Les médicaments diminuent la capacité de thermorégulation et la tolérance à la chaleur - Les maladies mentales telles que la schizophrénie, l'abus d'alcool et la démence sont des facteurs de risque durant les vagues de chaleur - La mobilité réduite et le besoin de soins médicaux réguliers rendent leur évacuation plus difficile 	X	X	X	
Personnes de statut socio-économique (SSE) inférieur	<ul style="list-style-type: none"> - Ce SSE est associé à un état de santé général plus faible - Ces gens ont moins de contrôle sur les circonstances de la vie, en particulier les événements stressants, et sont moins capables d'améliorer leur revenu - Ils sont susceptibles d'habiter dans des régions présentant des risques plus élevés - Il y a une augmentation de la mortalité liée à la chaleur dans les quartiers plus pauvres - Moins susceptibles de pouvoir prendre des mesures de rétablissement ou d'adaptation - L'itinérance est souvent associée à des troubles de santé mentale sous-jacents (<i>voir ci-dessus</i>) 	X	X	X	
Membres des Premières nations	<ul style="list-style-type: none"> - Plus susceptibles d'avoir un SSE inférieur (<i>voir ci-dessus</i>) - Moyens de subsistance traditionnels menacés - Infrastructures et capacité d'adaptation plus faibles - Accès limité aux services médicaux 	X	X	X	X

Production d'électricité à partir de charbon et de gaz naturel

La production d'électricité dans des centrales alimentées au charbon crée de grandes quantités de chaleur perdue qui est dispersée au moyen d'eau de refroidissement provenant de sources avoisinantes. La détérioration de la qualité de l'eau de refroidissement (p. ex., à cause d'une augmentation des solides dissous) crée des problèmes d'ingénierie dans les systèmes de refroidissement des centrales alimentées au charbon, parce que soit l'eau doit être traitée avant utilisation, soit l'usine doit être munie d'un système empêchant l'accumulation de tartre (Demadis, 2004).

Dans la région des Prairies, la baisse de la quantité d'eau due au changement climatique réduira l'approvisionnement des centrales en eau de refroidissement durant les périodes de sécheresse ou au cours d'autres périodes de faible débit. Lorsque l'approvisionnement en eau de refroidissement est bas les centrales doivent réduire leurs activités, ce qui se traduit par des pertes financières quotidiennes, et

l'eau utilisée pour le refroidissement sera peut-être retournée au bassin hydrographique d'origine, à des températures assez élevées pour endommager les écosystèmes aquatiques. Les répercussions environnementales de l'eau de refroidissement seront aggravées par les hausses de température résultant du changement climatique (Jensen, 1998).

Production d'hydroélectricité

Environ 95 p. 100 de l'électricité produite au Manitoba provient de l'énergie hydrique renouvelable (Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, 2007). En Alberta et en Saskatchewan l'hydroélectricité compte pour une partie modeste, mais importante de la capacité de production d'électricité. Pour prévoir la capacité future de production d'hydroélectricité, il faut tenir compte des débits printaniers et estivaux moyens, lesquels décroissent dans la partie ouest des Prairies à cause de la diminution de l'eau de fonte des glaciers (Demuth et Pietroniro, 2003) et des accumulations globales de neige (Leung et Ghan, 1999; Lapp *et al.*, 2005).

Exploitations de sables bitumineux

Les exploitations de sables bitumineux du nord de l'Alberta prennent de l'expansion à un rythme effarant. Elles produisent actuellement plus d'un million de barils de pétrole brut synthétique par jour, et l'on prévoit que la production sera de trois millions de barils par jour d'ici 2020 (Alberta Energy, 2005). Les investissements prévus dans la récupération des sables bitumineux sont de 125 milliards de dollars pour la période de 2006 à 2015 (Office national de l'énergie, 2006). Or, l'exploitation minière des sables bitumineux ainsi que l'extraction et le raffinage du pétrole sont des procédés qui exigent beaucoup d'eau et d'énergie. Selon les meilleures estimations courantes, les installations qui produisent du pétrole brut synthétique ou du bitume enrichi nécessitent de 2 à 4,5 barils d'eau pour le traitement d'un seul baril de pétrole (Griffiths *et al.*, 2006). Si l'on suppose que ce rapport demeurera constant à l'avenir, la production de plus de 3 millions de barils par jour d'ici 2010 exigera l'utilisation d'entre 6 et 13,5 millions de barils d'eau par jour.

Des témoignages présentés au cours des audiences de l'Energy and Utilities Board de l'automne 2003 portaient sur les évaluations environnementales de deux usines de transformation des sables bitumineux. Au cours de ces présentations, on a avancé 1) qu'aucune des usines ne pourrait soutenir ses activités durant les périodes de débits d'étiage de la rivière Athabasca sans endommager l'écologie aquatique et que 2) les effets du changement climatique sur les apports en eau réduiraient davantage ces débits d'étiage et en prolongeraient la durée. Dans une récente analyse des tendances de la demande en eau due aux projets d'exploitation de sables bitumineux et de la disponibilité de l'eau dans un contexte dominé par le changement climatique, Bruce (2006, p. 13-14) a conclu que :

« ... même lorsqu'on applique les scénarios de prélèvements minimums d'eau pour les projets d'exploitation de sables bitumineux, il y aurait eu au cours des 25 dernières années dix occasions où les débits d'étiage de la rivière Athabasca auraient été insuffisants pour éviter des répercussions à court terme sur les écosystèmes. En ce qui concerne les répercussions à long terme, les restrictions recommandées à l'égard des prélèvements destinés à ces projets indiquent que les débits d'étiage n'auraient pas satisfait tous les besoins des aménagements durant 34 des 35 dernières années. » (traduction)

Les exploitations de sables bitumineux se trouvent dans des régions de la forêt boréale qui sont riches en eau. Il faut réaliser de grands ouvrages de génie civil pour assécher des régions et stocker l'eau emmagasinée auparavant dans les terres humides. Il est également habituel de construire de vastes parcs à résidus pour les mines à ciel ouvert. Les épisodes de précipitations extrêmes pourraient causer des débordements et des déversements de l'eau contaminée et de l'eau douce emmagasinée. Les parcs à résidus contiennent des acides naphthéniques, un polluant toxique et corrosif (McMartin *et al.*, 2004) produit en grandes quantités par les procédés d'extraction et d'enrichissement des sables bitumineux. Ces acides sont persistants dans l'eau, mais leur présence et leur sort n'ont été que peu étudiés (Headley et McMartin, 2004). Ce polluant pourrait toucher jusqu'à 25 000 km² d'aménagements consacrés à l'exploitation des sables bitumineux et une superficie encore beaucoup plus grande, dans les cas de fuites ou de débordements des parcs à résidus dus à des phénomènes météorologiques extrêmes.

Sources d'énergie renouvelable et changement climatique

Peu de recherches ont été faites sur les répercussions possibles du changement climatique sur le secteur des énergies renouvelables, qui

inclut l'énergie solaire et éolienne, l'échange de chaleur géothermique et la production d'hydroélectricité. Le changement climatique n'aura probablement pas d'effet substantiel sur la production d'énergie solaire, à moins que la couverture nuageuse ne subisse d'importants changements.

La production d'énergie éolienne présente un bon potentiel dans les provinces des Prairies, car les vents soutenus y sont fréquents. D'ailleurs, le sud de l'Alberta et le sud-ouest de la Saskatchewan possèdent déjà des aménagements considérables pour la production d'énergie éolienne et en planifient d'autres. Il est possible que la vitesse des vents soutenus change avec le réchauffement du climat, car les gradients de températures entre l'équateur et le pôle seront réduits. Une étude réalisée aux États-Unis (Breslow et Sailor, 2002) a prévu une petite baisse des vents dans la partie continentale des États-Unis.

4.7 TOURISME ET LOISIRS

Une étude des répercussions possibles du changement climatique sur les visites effectuées dans les parcs nationaux du sud de la forêt boréale (p. ex., le parc national de Prince-Albert, en Saskatchewan) semble indiquer qu'elles augmenteraient de 6 à 10 p. 100 dans les années 2020, de 10 à 36 p. 100 dans les années 2050, et de 14 à 60 p. 100 dans les années 2080, si l'on se base sur la relation qui existe entre la température et les journées-visiteurs (Jones et Scott, 2006). Le principal impact du changement climatique a été d'accroître la longueur des saisons de transition (c.-à-d. le printemps et l'automne). Dans les régions de prairies, la biodiversité subira probablement les effets des changements de l'habitat et de la présence d'espèces envahissantes. Le long de la limite sud de la forêt boréale, les conditions climatiques entraîneront une évolution de la végétation vers des espèces plus résistantes aux sécheresses, en particulier des graminées (Thorpe *et al.*, 2001; Hogg et Bernier, 2005). À certains endroits, la perte de peuplements forestiers et d'autres changements de la végétation sont inévitables.

Les changements dans la végétation influenceront sur les habitats de la faune et apporteront des modifications aux aires de répartition des espèces (Gitay *et al.*, 2002). Les espèces qui présentent un intérêt n'habiteront peut-être plus les zones protégées où elles étaient traditionnellement observées et chassées. Par contre, une augmentation des incendies de forêt dans de nouvelles conditions climatiques (Flannigan *et al.*, 2005) pourrait accroître la superficie de l'habitat de certaines espèces, telles que le cerf et l'orignal, qui exploitent des forêts de début et milieu de succession. Les espèces sauvages les plus importantes aux fins d'activités comme l'observation et la chasse s'ajusteront rapidement aux changements des conditions environnementales. Parmi les effets majeurs touchant la chasse, la perte possible d'habitat pour la sauvagine à cause de l'assèchement des étangs des Prairies se traduirait par une réduction de 22 p. 100 de la productivité des canards (Scott, 2006). Les collectivités qui dépendent de ces activités pourraient donc voir chuter leurs recettes provenant du tourisme (Williamson *et al.*, 2005).

La baisse du niveau des lacs et des rivières, surtout du milieu à la fin de l'été (voir la section 3.1), pourrait réduire les possibilités de loisirs aquatiques : natation, pêche, navigation de plaisance, excursions en canot et activités en eau vive. Une fonte précoce et rapide de la neige au printemps pourrait empêcher les activités aquatiques printanières si les niveaux sont élevés ou les conditions de l'eau dangereuses. Les changements des températures et des niveaux d'eau auront une

incidence sur la répartition des espèces de poissons (Xenopoulos *et al.*, 2005). Les printemps plus doux entraîneraient la fonte précoce de la glace sur les lacs, limiteraient la saison de la pêche sur la glace et augmenteraient la probabilité de conditions de glace dangereuses.

Dans les parcs des Rocheuses de l'Alberta, le changement climatique a déjà fait migrer vers de plus hautes altitudes la végétation et la faune sauvage qui s'en nourrit (Scott *et al.*, 2007), et cet effet s'accroîtra avec le réchauffement à venir. En utilisant un certain nombre de scénarios de changement climatique, Scott et Jones (2005) et Scott *et al.* (2007) ont étudié les répercussions possibles du changement climatique sur les tendances des visites dans les parcs nationaux de Banff et des Lacs-Waterton, respectivement. Ils ont trouvé que le changement climatique pourrait faire augmenter les visites à Banff de 3 p. 100 dans les années 2020, et de 4 à 12 p. 100 dans les années 2050, selon le scénario utilisé. Pour le parc des Lacs-

Waterton, les hausses prévues sont de 6 à 10 p. 100 dans les années 2020 et de 10 à 36 p. 100 dans les années 2050. Dans les deux cas, les augmentations sont dues surtout aux hausses des températures. Cependant, à Banff, l'industrie du ski pourrait subir des répercussions fâcheuses si les chutes de neige diminuent. Dans les zones d'altitude inférieure à 1 500 mètres, la saison de ski pourrait avoir raccourci de 50 à 57 p. 100 dans les années 2020, et de 66 à 94 p. 100 dans les années 2050, bien que la fabrication de neige artificielle puisse aider à atténuer ces répercussions (Scott et Jones, 2005). Les zones de ski situées à plus haute altitude seraient beaucoup moins touchées. La réduction de la quantité de neige et le raccourcissement de la saison influenceront également sur la période et le nombre d'occasions où il serait possible de pratiquer le ski de fond, la raquette et la motoneige (Nicholls et Scott, sous presse).

5 ADAPTATION ET CAPACITÉ D'ADAPTATION

Pour établir et maintenir des collectivités et une économie à la limite nord des secteurs agricoles et forestiers des Prairies, dans des conditions de climat sec variable et loin des marchés d'exportation, il a fallu faire preuve d'un degré considérable d'adaptation au climat. Le maintien du développement économique et social dans un contexte dominé par le changement climatique se fera en utilisant et en renforçant les capacités d'adaptation acquises par la région. La capacité d'adaptation est un attribut qui donne une indication de l'aptitude d'un système ou d'une région à s'adapter efficacement au changement. Un système doté d'une grande capacité d'adaptation pourrait donc faire face aux changements du climat, et peut-être même en tirer avantage, tandis qu'un système de faible capacité d'adaptation en souffrirait probablement (*voir* le chapitre 2).

Dans la région, presque toutes les mesures d'adaptation ont été adoptées en réaction à des phénomènes climatiques particuliers et à des écarts par rapport aux conditions moyennes. L'histoire des prairies après la colonisation est ponctuée de réactions sociales et institutionnelles aux sécheresses et, dans une moindre mesure, aux inondations. La planification en fonction d'une évolution des conditions environnementales constitue un modèle de politiques et de gestion relativement nouveau. Dans de nombreux cas, les mesures d'adaptation prises actuellement sont l'œuvre d'institutions et d'individus qui ont ajusté leurs activités afin d'empêcher que les répercussions d'événements climatiques récents ne se répètent, ce qui signifie implicitement que l'on suppose que ces événements se reproduiront avec peut-être une fréquence ou une intensité plus grandes en raison du changement climatique.

Les ajustements possibles aux pratiques, aux politiques et aux infrastructures sont si nombreux qu'on ne peut traiter ici que de catégories et d'exemples. Aux fins de la présente évaluation de l'adaptation et de la capacité d'adaptation, les auteurs établissent une distinction entre le rôle des institutions officielles et non officielles et celui des individus, ainsi qu'entre les réactions aux répercussions d'événements historiques et, d'une part, l'acquisition d'une capacité

d'adaptation, d'autre part, la conception de méthodes d'anticipation de changements climatiques à venir.

5.1 INSTITUTIONS OFFICIELLES ET GOUVERNANCE

Les institutions imposent un ensemble de règlements, de règles, de processus et de ressources qui peuvent soit soutenir, soit miner la capacité des gens à faire face à des défis tels que le changement climatique (O'Riordan et Jager, 1996; O'Riordan, 1997; Willems et Baumert, 2003). Les stratégies de gestion des risques qui augmentent les ressources et la capacité d'adaptation dans une perspective d'avenir durable sont des facteurs de toute première importance pour la recherche des mesures susceptibles de réduire la vulnérabilité au changement climatique (Kasperson et Kasperson, 2005). Les institutions de gouvernance et les systèmes politiques et administratifs jouent un rôle clé dans le développement et le renforcement de la capacité d'adaptation, dans le soutien des efforts privés et dans la mise en œuvre de politiques qui attribuent des ressources de manière cohérente (Hall, 2005). Ces efforts peuvent exiger des dispositions institutionnelles différentes de celles qui sont formulées dans le but de répondre aux problèmes de nature politique classiques. Prendre les mesures nécessaires qui s'imposent vis-à-vis du changement climatique exige de transcender les limites traditionnelles des secteurs, des problèmes et de la politique, et de composer avec la complexité et l'incertitude (Homer-Dixon, 1999; Diaz *et al.*, 2003; Willows et Connell, 2003; Diaz et Gauthier, 2007).

Bien qu'elles soient dirigées par des innovateurs prêts à courir des risques et par des précurseurs, les mesures d'adaptation seront généralement appliquées lentement, et la capacité d'adaptation se développera elle aussi lentement, à moins que tous les paliers d'administration publique et les autres instances décisionnaires n'y participent. Faire face aux impacts du changement climatique exige

plus que le recours à une multitude de mesures d'adaptation hétéroclites, cela exige plutôt une réaction structurée, qui permet de déterminer, de prévenir et de résoudre les problèmes créés par ces impacts. Des cadres stratégiques peuvent contribuer à l'adoption d'une telle réaction systématique et efficace.

Les documents stratégiques provinciaux qui offrent des directives pour faire face au changement climatique (p. ex., *Albertans and Climate Change: Taking Action*) portent surtout sur les efforts de la réduction des émissions. Ils mentionnent certes l'adaptation, mais manquent de précisions sur la nature des répercussions prévues ou sur les étapes à suivre pour s'y adapter. Dans les provinces des Prairies, les programmes sont très avancés en Alberta, où le gouvernement provincial a créé une équipe chargée de l'adaptation au changement climatique qui a amorcé des évaluations aux échelles provinciale et multisectorielle de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation (Barrow et Yu, 2005; Davidson, 2006; Sauchyn *et al.*, 2007). Dans de nombreux cas, on pourrait réaliser et appuyer une adaptation importante en apportant des ajustements aux programmes et mécanismes d'élaboration des politiques existants. Dans le secteur agricole, par exemple, le Cadre stratégique pour l'agriculture, le Programme national d'approvisionnement en eau, la planification agroenvironnementale à la ferme et divers autres programmes et politiques fédéraux et provinciaux peuvent à la fois intégrer des options d'adaptation et fournir des moyens d'améliorer la capacité d'adaptation.

Les discussions sectorielles suivantes décrivent le rôle des institutions et du gouvernement dans l'amélioration de la capacité d'adaptation et la promotion de la mise en œuvre de mesures d'adaptation; elles sont fondées sur des exemples constatés et sur des scénarios futurs possibles.

5.1.1 Gestion des ressources en eau

Il est tout à fait possible d'améliorer la capacité d'adaptation des institutions dans le secteur des ressources en eau en apportant des changements à la gestion des bassins hydrographiques et des réservoirs (Wood *et al.*, 1997). Par exemple, les règles de fonctionnement des systèmes de gestion de la ressource hydrique, lesquels s'avéreront d'une importance cruciale en raison du ruissellement printanier précoce et de la demande d'eau accrue attendue en été, pourraient être ajustées de façon à en améliorer et l'efficacité et la capacité. Des changements aux procédures, comme irriguer seulement après le coucher du soleil et utiliser des méthodes d'irrigation plus efficaces (voir la figure 16), peuvent aider à compenser la demande en eau croissante provenant d'autres sources (Bjornlund *et al.*, 2001). L'augmentation des efforts de recyclage de l'eau ou l'attribution de permis aux industries, du moment que ces dernières ont adopté des pratiques de gestion optimales et des normes de recyclage de l'eau offrent d'autres occasions d'introduire des changements de procédures (Johnson et Caster, 1999). Plusieurs régions ont déjà reconnu les avantages que présente une gestion des bassins versants à caractère holistique, et l'ont d'ailleurs adoptée (Serveiss et Ohlson, 2007), et des occasions s'offrent aux instances responsables de la gestion des bassins versants de mettre en place de telles mesures d'adaptation au changement climatique à l'échelle de la collectivité (Crabbé et Robin, 2006).

Une étude comparative concernant deux bassins hydrographiques situés en terres sèches, soit le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud (BRSS), dans les Prairies canadiennes, et le bassin de la rivière Elqui, dans le centre-nord du Chili, a été entreprise afin de mieux



FIGURE 16 : Irrigation dans les Prairies (vallée de la rivière Frenchman, dans le sud-ouest de la Saskatchewan).

comprendre le rôle des institutions régionales dans la formulation et la mise en œuvre de mesures d'adaptation liées à la gestion des ressources en eau (www.parc.ca/mcri). Les résultats ont indiqué que les collectivités considèrent les risques liés au climat comme un problème d'envergure et déploient des efforts importants pour les gérer. L'étude soulignait également que les risques d'ordre climatique sont compliqués par des stimuli de nature non climatique qui augmentent le degré de vulnérabilité et que les collectivités perçoivent des lacunes dans la capacité des institutions à gérer les affaires publiques de façon à réduire la vulnérabilité des populations rurales. Une étude de la participation locale à la gestion de l'eau dans le sous-bassin de la rivière Oldman du BRSS (Stratton *et al.*, 2004; Stratton, 2005) conclut que les mesures d'adaptation ont été plus réactionnelles qu'anticipatoires et qu'elles ont été ciblées surtout sur l'approvisionnement en eau, plutôt que sur la demande. Dans le cadre d'un autre projet mené dans le même bassin, les intervenants ont fait preuve d'une prise de conscience vis-à-vis des ressources en eau et ont eu recours à des mesures d'adaptation efficaces aux pénuries d'eau (Rush *et al.*, 2004). Il reste toutefois des défis importants à relever quant aux attitudes face à la probabilité que le changement climatique ait des répercussions sur les approvisionnements en eau destinés à tous les utilisateurs, à la protection à long terme de ces ressources et à l'acceptation des mesures de conservation de l'eau en tant que méthode d'adaptation. Les politiques et la législation pourraient fournir des instruments économiques et réglementaires souples en vue de mieux gérer la variabilité et la rareté croissantes de l'eau, d'encourager une efficacité accrue, d'accroître la capacité d'adaptation au changement climatique et de faciliter entre les utilisateurs de l'eau des compromis qui reflètent leurs divers niveaux de vulnérabilité à la rareté de l'eau.

Étant donné les incertitudes quant à l'ordre de grandeur et à la vitesse du changement climatique, il faudra que les procédures de gestion et de planification soient assez souples pour permettre de réagir aux nouvelles connaissances sur les répercussions prévues. Ces procédures doivent également impliquer les intervenants locaux afin de déterminer les vulnérabilités et les méthodes d'adaptation appropriées à cette échelle. Ces principes ont agi à titre de critères dans le cadre de la stratégie « Water for Life » de l'Alberta (Government of Alberta, 2003), aux termes de laquelle cette province cherche à mettre en place une nouvelle approche à la gestion de l'eau assortie de mesures particulières visant à garantir

des approvisionnements en eau fiables et de bonne qualité en vue d'une économie durable. Parmi les réformes institutionnelles prises en considération, on trouve l'utilisation d'instruments économiques, de pratiques de gestion optimales et de plans de gestion des bassins hydrographiques qui font appel aux collectivités locales pour accroître de 30 p. 100 l'efficacité et la productivité d'utilisation de l'eau tout en donnant des résultats sur les plans social, économique et environnemental. La stratégie prévoit que ces instruments seront adoptés volontairement et que l'eau des utilisateurs actuels sera réattribuée de façon à satisfaire la demande croissante d'autres secteurs économiques. Elle garantit en outre que les droits existants seront respectés et que personne ne sera forcé d'abandonner des quantités d'eau. La stratégie « Water for Life » comprend, dans le cadre du plan de gestion à long terme, une disposition visant l'établissement de cartes de risques d'inondations et la création de systèmes d'avertissement pour les collectivités à risque.

Les sécheresses préoccupent davantage les villes des provinces des Prairies que les centres urbains des autres régions du pays. En réaction à la sécheresse de 1988, la Ville de Regina a élaboré des plans d'intervention d'urgence en cas de sécheresse qui incluent des programmes de conservation de l'eau et l'accroissement de la capacité de traitement et de livraison de l'eau (Cecil *et al.*, 2005). Les autres villes des Prairies n'ont pas encore institué de tels plans d'intervention en cas d'urgence (Wittrock *et al.*, 2001).

5.1.2 Gestion des écosystèmes

Gérer le capital naturel de façon à ce que les écosystèmes déjà soumis à un stress continuent d'être avantageux à mesure que le climat évolue pose des défis aux gouvernements et aux industries primaires. L'hypothèse que les zones protégées sont stables sur le plan biogéographique se révélera faussée, et la planification de la protection de la biodiversité devra peut-être plutôt se concentrer sur la protection « d'une cible mobile qui soit représentative au sens écologique » (Scott et Lemieux, 2005). Il serait plus approprié de viser à accroître la résistance des écosystèmes que de chercher à les stabiliser (Halpin, 1997). Une gestion proactive des perturbations et des habitats grâce à des stratégies d'intervention propres aux espèces est peut-être la seule solution pour « reconfigurer les zones protégées en fonction des nouvelles conditions climatiques » (Lopoukhine, 1990; Scott et Suffling, 2000). Dans les parcs nationaux du Canada, il pourrait être matériellement impossible d'appliquer une stratégie de maintien du paysage, quels qu'en soient le pour et le contre au sens philosophique (Scott et Suffling, 2000). Dans le nouveau climat, certaines zones ne pourront plus assurer le maintien des espèces et des écosystèmes qu'elles avaient pour objet de protéger à l'origine (Pernetta, 1994). Par exemple, le parc national Wapusk, sur les rives de la baie d'Hudson, au Manitoba, a été créé pour protéger les ours blancs lorsque les femelles mettent bas leurs petits (Scott *et al.*, 2002); or, ces ours se trouvent à la limite sud de leur territoire et sont peut-être condamnés à disparaître à mesure que l'état des glaces se détériore (voir le chapitre 3).

La gestion des écosystèmes naturels peut également exiger de remettre en question les politiques qui découragent l'introduction d'espèces étrangères et d'élaborer des stratégies d'introduction de nouvelles espèces afin de maintenir la biodiversité et d'accroître la résistance des écosystèmes (p. ex., la « redondance » des espèces; Malcolm et Markham, 1996). Les politiques actuelles ne favorisent pas l'introduction d'espèces étrangères (p. ex., Alberta Reforestation Standards Science Council, 2001; Alberta Sustainable Resource Development, 2005; Conservation Manitoba, 2005), en partie parce

qu'elles supposent qu'il est encore possible de maintenir les assemblages végétaux actuels. Toutefois, si les espèces indigènes ne peuvent pas se régénérer, les options stratégiques ne seront alors pas évidentes. L'introduction d'espèces d'arbres étrangères ne semble pas faire l'objet d'interdictions juridiques, et l'on en plante fréquemment sur des terres franches. Le gouvernement de la Saskatchewan (Government of Saskatchewan, 2005) fait une grande promotion de l'agrosylviculture dans le but de convertir, d'ici 20 ans, 10 p. 100 de l'ensemble des terres arables de la province en terres forestières. La majeure partie de la superficie ainsi convertie devrait se trouver à la bordure sud de la forêt boréale, de sorte que des arbres exotiques pourraient envahir la forêt indigène. Une autre option de gestion, qui pourrait être matière à controverse, consiste à « accélérer la récolte avant perte » (Carr *et al.*, 2004). La récolte du bois serait ainsi accélérée, si nécessaire, pour porter au maximum l'utilisation de cette ressource à récolte unique provenant d'une forêt qui ne pourra probablement pas se régénérer.

5.1.3 Agriculture

Par le passé, les gouvernements fédéral et provinciaux ont réagi aux sécheresses en créant des programmes de protection du revenu pour en compenser les répercussions socio-économiques fâcheuses (Wittrock et Koshida, 2005) et, récemment, en élaborant des plans de gestion des sécheresses. Ces programmes ont inclus jusqu'à présent l'assurance-récolte, le Programme de l'aménagement hydraulique rural, le Programme national d'approvisionnement en eau, le Compte de stabilisation du revenu net (CSRN), le Programme canadien de stabilisation du revenu agricole (PCSRA), le Programme canadien du revenu agricole (PCRA) et le Programme de report d'impôt sur le revenu. L'assistance consiste notamment à aider les producteurs à avoir accès à de nouvelles ressources en eau, à contrebalancer les coûts liés à la production de récoltes et à reporter l'impôt sur le revenu provenant de la réforme des troupes. Les réclamations d'assurance-récolte et l'aide provenant des programmes de protection du revenu ont monté en flèche durant les années de sécheresse 2001 et 2002, en particulier en Alberta et en Saskatchewan (Wittrock et Koshida, 2005).

Les programmes de conservation des sols et de l'eau font partie intégrante de l'adaptation du secteur agricole au climat sec et variable des Prairies (Sauchyn, 2007). Avant même la colonisation des provinces des Prairies, un réseau de fermes expérimentales a été établi entre les années 1890 et le début des années 1900 dans le but d'instaurer des pratiques d'aridoculture. Les premiers programmes du gouvernement canadien visant à combattre la détérioration des sols, dont l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP), ont été créés en réaction aux événements désastreux des années 1930, alors que les répercussions des sécheresses ont été aggravées par une colonisation presque uniforme des terres agricoles qui ne tenait pas compte des variations dans la sensibilité des pédopaysages et dans la capacité du climat et du sol de permettre la croissance des récoltes.

Parmi les récentes initiatives institutionnelles visant à réduire la détérioration des sols, on compte la partie du Plan vert agricole ayant trait aux sols, le Programme national de conservation des sols (PNCS), le Programme national de gestion agroenvironnementale, l'Initiative nationale relative à la planification environnementale à la ferme et le programme de couverture végétale. Dans les provinces des Prairies, l'un des éléments majeurs du PNCS a été le Programme d'établissement d'une couverture végétale permanente (PÉCVP; Vaisy *et al.*, 1996). Le premier PÉCVP a été complètement utilisé en

quelques mois, et 168 000 hectares de terres marginales ont été retirés de la production annuelle. En 1991, une prolongation de ce programme a permis la conversion d'une superficie supplémentaire de 354 000 hectares. Le PÉCVF représentait une politique d'adaptation qui a réduit la sensibilité au climat sur une grande superficie, même s'il ne s'agissait pas là d'un objectif formel du programme.

5.1.4 Industrie forestière

Les mécanismes qui encouragent l'aménagement forestier durable au Canada devraient aider à accroître la capacité d'adaptation du secteur forestier, même s'ils ne concernent pas formellement l'adaptation au changement climatique. Ces mécanismes comprennent les critères de gestion durable des forêts élaborés par les membres du Conseil canadien des ministres des forêts (Conseil canadien des ministres des forêts, 2003) ainsi que les procédures de certification qui indiquent que les produits forestiers proviennent d'un territoire forestier géré de façon durable.

Si les pratiques actuelles de repeuplement ou de régénération naturelle échouent, il pourrait devenir de plus en plus difficile de régénérer un milieu forestier, quel qu'il soit, à mesure que le climat deviendra plus chaud et plus sec (Hogg et Schwarz, 1997). La perte de forêts risque donc d'être irréversible si l'adaptation est lente ou seulement réactionnelle. Une adaptation proactive pourrait faire appel à l'introduction d'espèces étrangères, bien que cette option présente également un risque d'hybridation ou d'importation d'espèces ou d'agents pathogènes importuns associés aux espèces étrangères. L'introduction d'espèces étrangères à potentiel d'hybridation nul ou peu envahissantes semble être l'option d'adaptation la plus réversible, mais ni sa réversibilité ni le succès de la naturalisation ne sont garantis.

5.1.5 Santé et bien-être

La protection des citoyens les plus vulnérables contribuera beaucoup à sauvegarder la santé et le bien-être des habitants des provinces des Prairies dans un milieu touché par le changement climatique. Certaines mesures d'adaptation prises dans d'autres secteurs atténueront directement les conséquences de ce changement sur la santé. Par exemple, une mesure d'adaptation aux sécheresses adoptée avec succès par le secteur agricole diminuera le stress et les contraintes financières subis par les travailleurs de ce secteur, leurs familles et leurs collectivités. Les systèmes de soins de santé sont un élément caractéristique de la société canadienne, et il se peut que l'on n'ait qu'à modifier les mesures de contrôle ou de surveillance de ces systèmes pour les rendre plus applicables dans le contexte du changement climatique. Si l'on acquiert la capacité d'établir un lien entre les effets sur la santé actuels liés au climat (p. ex., les maladies respiratoires) et des variables météorologiques et climatiques, les chercheurs pourront mieux déterminer comment les changements du climat pourraient agir sur les tendances des maladies dans l'avenir. Le tableau 12 présente d'autres lacunes sur le plan des recherches et des besoins en matière de capacités.

Les coûts associés à l'aide aux sinistrés et aux programmes d'aide offerts durant et après les catastrophes représenteront une dépense croissante pour les gouvernements, à moins que des mesures d'adaptation efficaces ne soient mises en œuvre (Soskolne *et al.*, 2004).

TABLEAU 12 : Exemples de lacunes sur le plan des recherches et capacités supplémentaires requises pour réduire les répercussions particulières sur la santé.

Répercussions sur la santé d'incidence climatique	Capacités supplémentaires requises ou lacunes sur le plan des recherches
Stress ou anxiété liés aux sécheresses chez les travailleurs agricoles	Relier la santé et le bien-être aux statistiques sur l'économie agricole et l'emploi dans ce secteur
Maladies ou états liés à la poussière	Éducation et sensibilisation des populations à risque; lier les concentrations de poussière à des variables météorologiques
Maladies ou états liés aux feux de friche irrépessibles	Incidence de base et taux de prévalence des effets connus sur la santé
Maladies d'origine hydrique et maladies dues à la qualité médiocre de l'eau	Lier la qualité de l'eau, les données sur les épidémies et les prescriptions de faire bouillir l'eau à des variables météorologiques à l'échelle locale ou distale (p. ex., échelle du bassin hydrographique)
Températures moyennes croissantes et intoxications alimentaires	Lier les intoxications alimentaires et les pathogènes alimentaires (le long de la chaîne de transformation des aliments) à des variables météorologiques
Pollution de l'air et maladies respiratoires	Nécessité de connaître l'incidence de base et le taux de prévalence; relier les variables météorologiques et les niveaux de pollution; utiliser les analyses des masses d'air
Inondations et stress, troubles et anxiété post-traumatiques	Soutien communautaire supplémentaire pour la prévention des inondations
Virus du Nil occidental et syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH)	Contrôle et surveillance continus

5.2 ADAPTATION À L'ÉCHELLE LOCALE, INSTITUTIONS NON OFFICIELLES ET CAPITAL SOCIAL

Des familles d'agriculteurs gèrent plus de 80 p. 100 des terres agricoles canadiennes, et une bonne partie des mesures d'adaptation rurales est le produit d'innovations à l'échelle locale. Cette caractéristique contraste avec d'autres secteurs, en particulier l'industrie forestière, l'exploitation minière, le secteur de l'énergie, les transports et les villes, où les ressources appartiennent généralement aux sociétés ou sont louées par celles-ci, et où une bonne partie des mesures d'adaptation est mise en œuvre au niveau institutionnel.

Avec la mondialisation, la responsabilité de gérer l'adaptation est en train d'être transmise aux agro-entreprises et aux instances d'ordre national et international (Burton et Lim, 2005). L'existence de matériel agricole de plus grande taille et automatisé, et la production à plus grande échelle permettent à un plus petit nombre d'agriculteurs de produire davantage de denrées primaires. Cette échelle industrielle peut favoriser des adaptations de nature technologique et économique au changement et à la variabilité du climat, mais elle a tendance à remplacer le réseau robuste et cohérent des collectivités rurales (Diaz *et al.*, 2003), ce qui a pour effet de nuire au capital social permettant l'adaptation. Malgré que l'industrie

agricole soit devenue beaucoup plus diversifiée, et donc plus résiliente, on remarque que cela s'est produit en partie grâce à une spécialisation à l'échelle régionale, qui a entraîné du même coup une réduction de la diversité et une augmentation de la vulnérabilité des fermes individuelles (Bradshaw *et al.*, 2004). Bien que la capacité d'adaptation des producteurs agricoles semble relativement grande (p. ex., Burton et Lim, 2005), les seuils auxquels ils peuvent faire face seront dépassés si les écarts par rapport aux conditions normales atteignent des niveaux jamais encore observés (Sauchyn, 2007).

Il y a de grandes possibilités d'utiliser de façon plus efficiente les approvisionnements en eau à des fins agricoles, plus particulièrement en améliorant la gestion de l'utilisation de l'eau par le bétail (p. ex., McKerracher, 2007) et pour les cultures irriguées (voir l'étude de cas 2). Certains témoignages révèlent que les propriétaires et les gestionnaires de terres agricoles pensent maintenant davantage à rétablir le processus de stockage naturel et les pratiques traditionnelles, telles que les systèmes de collecte de l'eau de pluie et l'utilisation de la capacité de stockage des terres humides et des écosystèmes riverains. Cependant, l'échelle de l'agriculture moderne pose un obstacle au rétablissement des terres humides, puisqu'une telle mesure pourrait entraîner une baisse de l'efficacité de la grosse machinerie agricole et exiger un dédommagement pour compenser l'inondation des terres arables.

Étant donné que les pratiques de gestion à l'échelle de la ferme ont des effets plus immédiats que le changement climatique (Jones, 1993), elles ont le potentiel soit de réduire, soit d'accroître les répercussions du climat. La conservation des sols est un parfait exemple de stratégie de type « sans regret », car il est avantageux d'empêcher la perte des sols, que le changement climatique ait ou non les répercussions prévues. Avec l'adoption de pratiques modernes de conservation des sols, en particulier le travail réduit du sol, le nombre moyen de jours pendant lesquels les sols sont dénudés a chuté de plus de 20 p. 100 dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1996, et la superficie des terres qui risquent de subir une érosion éolienne a ainsi diminué de 30 p. 100 (McRae *et al.*, 2000). Habituellement, le coût de la conservation des sols et de l'eau est assumé principalement par les gestionnaires des terres.

« La très forte érosion par le vent et l'eau est dominée par ces cas très rares où le sol exposé est soumis à des événements très érosifs. Ces événements peuvent ne se produire qu'une fois pendant la vie active d'un agriculteur donné, ce qui rend difficile de justifier la dépense et les inconvénients de nombre de pratiques de conservation du sol » (Administration du rétablissement agricole des Prairies, 2000: p.33 [traduction]).

Certaines formes de capital social, comme la mise en commun des connaissances et la participation à des réseaux de soutien, réduisent la vulnérabilité en intensifiant l'appui mutuel et la réciprocité (Portes, 1998; Field *et al.*, 2000; Glaeser, 2001; Putnam, 2001; Policy Research Initiative, 2005). Le capital social rend la compréhension des défis à relever et des mécanismes d'adaptation plus aisée et peut servir à mobiliser les ressources pour assurer le bien-être des personnes, des groupes et des collectivités. La capacité d'adaptation actuelle est « liée à l'aptitude d'une société à agir collectivement » (Adger, 2003a, p. 29 [traduction]) et repose sur les réseaux sociaux, les relations et la confiance. Le capital social peut compléter, voire remplacer, les efforts de l'État pour ce qui est de faire face aux dangers d'ordre climatique (Adger, 2000; Sygna, 2005). Dans les collectivités rurales en particulier, des institutions non officielles, telles que les groupes confessionnels et les sociétés agricoles, constituent des mécanismes efficaces qui aident à composer avec des problèmes comme le changement climatique.

Des enquêtes réalisées dans six collectivités rurales du sud de la Saskatchewan ont fourni des indications claires de l'existence d'un grand capital social. En effet, la confiance et la participation à des organismes et à des réseaux officiels sont courantes au sein des collectivités (Diaz et Nelson, 2004; Jones et Schmeiser, 2004). En moyenne, les personnes qui possèdent un capital social moyen ou élevé sont plus informées et plus optimistes à l'égard des problèmes liés au changement climatique et à la qualité de l'eau, et mieux en mesure d'agir (Diaz et Nelson, 2006). Celles dont le niveau de capital social est plus faible semblent être plus pessimistes face au changement climatique et à la capacité d'y remédier. Dans les milieux urbains, il existe entre les quartiers une grande variabilité du capital social, qui reflète les conditions économiques et sociales à l'intérieur d'une ville (Cecil *et al.*, 2005).

Les résidents des collectivités rurales sont peut-être plus susceptibles que ceux des villes de se montrer sceptiques face au changement climatique (Neudoerffer, 2005). Cet état de choses pourrait nuire à la participation à des initiatives d'adaptation. En outre, l'autonomie des institutions communautaires commence à subir la menace des forces du marché à grande échelle et des structures administratives dominées par les entreprises multinationales et les gouvernements régionaux désireux d'attirer de nouveaux investissements (Epp et Whitson, 2001). Une réduction du sentiment d'autonomie pourrait aussi réduire les efforts de planification des mesures d'adaptation au niveau local.

Dans les collectivités autochtones, l'adoption de modes de vie non traditionnels survenue au cours des dernières années a réduit le recours aux connaissances et aux pratiques locales, et une dépendance croissante envers le travail salarié et l'aide extérieure a miné la capacité d'adaptation à l'échelle locale (Ford et Smit, 2004). Les connaissances et les systèmes de gestion des terres traditionnels étaient auparavant des sources de ressort psychologique et pourraient jouer un rôle important à l'avenir dans le processus de rétablissement ou de renforcement de la capacité d'adaptation.

Les collectivités à vocation touristique et les infrastructures de type récréatif exigent d'énormes dépenses en immobilisation comme les remontées, l'équipement de fabrication de neige, les chalets et de coûteuses résidences de vacances. Si ces collectivités sont limitées à des activités hivernales, le potentiel de pertes économiques dues au changement climatique est élevé. Cependant, l'effet économique net pourrait être amélioré grâce à la diversification, c'est-à-dire qu'on pourrait capitaliser sur les conditions de nature plus estivales qui prévaudront au printemps et à l'automne (Scott et Jones, 2005). Les collectivités à vocation touristique ont tendance à avoir une économie plus diversifiée que celles qui dépendent d'un secteur unique axé sur les ressources primaires (c.-à-d. l'agriculture, l'exploitation minière ou l'industrie forestière), et leurs résidents sont susceptibles de posséder un ensemble de compétences plus étendu qui renforce leur capacité d'adaptation.

Les enseignements tirés de catastrophes du passé donnent un aperçu des stratégies d'adaptation possibles. Les journaux présentent en détail les répercussions des catastrophes selon le point de vue des individus et des collectivités, et peuvent appuyer à l'aide de documents le rapport entre ces catastrophes et des résultats néfastes pour la santé que les méthodes de recherche scientifique classiques ne peuvent pas facilement mesurer (Soskolne *et al.*, 2004). La description des difficultés vécues par les collectivités et les individus met en évidence les circonstances qui touchent la santé et le bien-être de façon délétère au cours d'une catastrophe. Ces histoires peuvent aider à déterminer dans quel domaine il serait le

plus efficace de concentrer les efforts d'adaptation à l'échelle communautaire, comme la création de voies d'évacuation de rechange pour les collectivités éloignées. Même si le système de soins de santé actuel répond généralement de façon efficace aux

conséquences directes des catastrophes sur la santé, avec l'augmentation de la fréquence et de la gravité des phénomènes climatiques extrêmes, la capacité des services de santé pourrait être dépassée.

6 SYNTHÈSE

Les principaux risques et possibilités liés au changement climatique dans les provinces des Prairies tiennent au climat sec et variable, aux hausses de température projetées qui sont plus élevées que partout ailleurs dans le sud du Canada, à la sensibilité des ressources en eau, des écosystèmes et des économies primaires aux variations saisonnières et interannuelles du climat, en particulier les larges écarts (p. ex., les sécheresses) par rapport aux conditions normales. La croissance économique rapide que ces provinces ont connue récemment, particulièrement l'Alberta, l'exode des populations rurales vers les villes ainsi que la présence sur leur territoire de la majorité des paysages agricoles et des terres irriguées du Canada sont également des facteurs importants qui ont une influence sur la vulnérabilité dans les Prairies. Après avoir évalué la vulnérabilité de la région, on peut tirer les conclusions suivantes :

- ***Les changements climatiques prévus dépasseront la plage de variabilité naturelle du passé récent.***

L'importante tendance récente au réchauffement, dont fait état aussi bien les données de substitution que celles recueillies à l'aide d'instruments, concorde avec les prévisions provenant des modèles de circulation générale (MCG). Sauf dans le cas de quelques scénarios correspondant aux années 2020, tous les modèles prévoient des climats qui sortent de la plage de variabilité naturelle connue et constatée au XX^e siècle. L'évaluation, par les auteurs, des sensibilités et des vulnérabilités des ressources naturelles et des activités humaines révèle que l'accroissement projeté de la variabilité climatique et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes constituent, pour les provinces des Prairies, le danger le plus important associé au changement climatique. Les extrêmes climatiques, en particulier les sécheresses, poseront un défi de taille à l'adaptation et feront en sorte que le changement climatique sera moins apte à présenter des possibilités. Les modèles climatiques sont incapables de reproduire les phénomènes extrêmes et la variabilité hydroclimatique de façon aussi fiable qu'ils le font lorsqu'il s'agit de simuler les tendances à venir et la variabilité de la température. Les épisodes climatiques les plus coûteux de l'histoire canadienne ont été des sécheresses dans les Prairies. Les inondations sont un autre type d'épisode climatique coûteux auquel sont associés des répercussions pouvant avoir une incidence sur la santé, comme les proliférations de maladies d'origine hydrique, le stress et l'anxiété. La répétition, tout au long de l'histoire, des impacts sociaux et économiques des sécheresses semble indiquer que des sécheresses futures extrêmement graves ou de longue durée seront les éléments du changement climatique et de la variabilité les plus susceptibles de taxer au-delà de ses limites la capacité des collectivités et de l'industrie des Prairies d'y faire face et de s'adapter.

- ***La plupart des économies et des activités ne sont pas encore adaptées à la gamme plus considérable de conditions climatiques prévus.***

Un certain degré d'adaptation a déjà eu lieu dans les collectivités et les économies des Prairies en réaction aux conditions climatiques du XX^e siècle. Cette courte perspective met en évidence une certaine constance en ce qui a trait au climat et aux ressources; les pratiques et les politiques de gestion des ressources reflètent donc la perception selon laquelle les apports en eau et les ressources écologiques sont abondants au sein d'un milieu relativement stable. Dans la perspective plus étendue qu'offrent les modèles climatiques et les données paléoenvironnementales ainsi que les changements prévus de la variabilité du climat, de la biodiversité, des régimes de perturbation et de la répartition des ressources en eau et des écoservices, les systèmes futurs de gestion de l'eau et des écosystèmes devront, dans l'avenir, renoncer à l'hypothèse d'un environnement stationnaire.

- ***Les principales vulnérabilités liées au changement climatique concernent la disponibilité de l'eau et les répartitions au niveau des écosystèmes.***

L'une des projections les plus certaines au sujet de l'hydroclimat futur est qu'on disposera de plus d'eau en hiver et au printemps, alors que les étés seront généralement plus secs, en raison du ruissellement printanier précoce et des pertes par évapotranspiration au cours d'une saison estivale plus longue et plus chaude. Le résultat net sera très probablement une réduction de la quantité d'eau de surface et de l'humidité du sol, mais aussi une plus grande variation d'une saison et d'une année à l'autre. Certaines années, la rareté de l'eau sera une contrainte pour tous les secteurs et toutes les collectivités, phénomène qui pourrait mettre un frein à la rapide croissance économique actuelle, y compris la mise en valeur des sables bitumineux et le recours accru à l'irrigation.

On s'attend à ce que le réchauffement et l'assèchement du climat entraînent des changements importants dans les écosystèmes. Les habitats aquatiques subiront un stress qui touchera diverses espèces de poissons, alors que certaines populations d'oiseaux aquatiques diminueront substantiellement. C'est à proximité des gradients écologiques prononcés, comme dans les montagnes, les îlots de forêt et sur les marges nord et ouest des forêts de conifères, que les changements des écosystèmes terrestres seront les plus visibles. Des végétaux et des animaux non indigènes apparaîtront dans le paysage. Certaines espèces indigènes dépériront ou disparaîtront tout à fait. D'autres espèces augmenteront en nombre, ou leur

répartition géographique s'étendra si la connectivité le permet. L'évolution des écosystèmes pourrait rendre plus communes certaines maladies à transmission vectorielle, telles que le virus du Nil occidental et le syndrome pulmonaire à hantavirus.

- ***Des hivers plus courts et plus doux offrent à la fois des avantages et des désavantages.***

Une grande partie de la hausse prévue des températures et des précipitations aura lieu en hiver et au printemps. Cette situation a plusieurs avantages, dont la réduction de la demande d'énergie pour le chauffage et de la mortalité due aux froids extrêmes. En revanche, les hivers froids présentent aussi des avantages pour les activités récréatives hivernales, pour le transport sur les lacs et les terrains gelés et, en particulier, pour le stockage de l'eau sous forme de glace et de neige, soit actuellement la source d'eau la plus abondante, la plus fiable et la plus prévisible.

- ***L'adaptation planifiée constitue un élément de la gestion adaptative et du développement économique durable.***

La croissance des pressions exercées sur les ressources naturelles, conjuguée au modèle actuel de développement durable, a donné naissance dans tous les secteurs à des politiques et à des processus qui ont un rapport avec l'adaptation planifiée dans le cadre du changement climatique. Parmi les moyens d'action et de gestion utiles en place figurent les initiatives des communautés durables, le renouvellement des infrastructures, la planification agroenvironnementale à la ferme, les conseils de gestion des bassins hydrographiques et les principes de gestion adaptative des forêts et de gestion intégrée des ressources en eau. Étant donné l'urbanisation rapide en Alberta et le dépeuplement général des régions rurales dans la totalité des Prairies, les stratégies de croissance urbaine durable et de soutien des économies rurales doivent inclure l'évaluation des risques et des possibilités liés aux phénomènes climatiques dans le cas de divers secteurs de la population et de diverses économies rurales. Par exemple, les répercussions du changement climatique sur les ressources naturelles, en particulier les apports en eau, auront une forte incidence sur le développement économique des régions rurales.

- ***La capacité d'adaptation varie entre moyenne et élevée dans les provinces des Prairies, mais elle est répartie inégalement et doit être mobilisée si l'on veut réduire le niveau de vulnérabilité.***

Une évaluation des éléments déterminants classiques de la capacité d'adaptation (capital naturel et humain, infrastructures, technologie, etc.) semble indiquer que cette capacité est relativement élevée dans les Prairies. En effet, les antécédents de ces provinces en matière d'adaptation à un climat rigoureux et variable ont permis au secteur agricole d'acquiescer une capacité d'adaptation considérable; celui-ci peut maintenant se fier sur ces antécédents pour s'adapter aux menaces à sa productivité. Les politiques et pratiques de gestion ont été ajustées en raison, par exemple, de la détérioration des sols, des barrières commerciales et des changements dans les marchés d'exportation et les subventions au transport. L'histoire du secteur agricole des Prairies a été jusqu'à présent un processus continu d'adaptation et de protection contre les sécheresses qui a fait intervenir des innovations et des améliorations sur le plan de la

gestion de l'eau, des sols, des cultures et des pâturages. Des sécheresses plus graves mettront à l'épreuve cette capacité d'adaptation acquise.

La capacité d'adaptation moyenne à élevée d'autres secteurs peut être attribuée à des stratégies de gestion des risques et à des pratiques de gestion adaptatives, bien que ces mécanismes n'aient généralement pas fait leurs preuves face au changement climatique. Les obstacles à l'adaptation peuvent être, entre autres, le manque de capacités financières, le manque de compréhension, chez les gestionnaires, des conséquences du changement climatique et les politiques en place, qui peuvent prévenir la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

La capacité d'adaptation est répartie inégalement sur le territoire ainsi qu'entre les segments de la société en raison de leurs situations sur les plans démographique et de la santé et des facteurs régionaux, socio-économiques et culturels. Dans les provinces des Prairies, les populations les plus vulnérables sont les personnes âgées, les enfants, les gens déjà atteints de troubles médicaux, ceux dont le statut socio-économique est médiocre ou qui sont sans abri, les petits agriculteurs et les Autochtones. Les personnes âgées, les Autochtones et les immigrants sont les segments de la population qui croissent le plus rapidement et qui sont parmi les plus vulnérables aux répercussions sur la santé. La vulnérabilité économique précède souvent les conséquences délétères dues aux phénomènes météorologiques extrêmes.

Les inégalités actuelles de la répartition géographique des personnes et des ressources – la population et la richesse étant concentrées en Alberta – seront probablement amplifiées par le changement climatique. Le stress économique et social lié à ce dernier pourrait favoriser d'autres migrations de la campagne vers les villes et vers les régions possédant le plus de ressources. L'exode des populations rurales vers les grands centres urbains nuit à la viabilité des collectivités rurales et peut imposer aux villes des pressions sociales supplémentaires. Les collectivités rurales, en particulier les collectivités isolées et caractérisées par un manque de diversité économique, sont les plus à risque en raison de leur faible capacité d'intervention en cas d'urgence et de leur dépendance envers des secteurs économiques sensibles au climat (agriculture et industrie forestière). Les collectivités rurales autochtones subiront les mêmes stress, en plus des menaces touchant les ressources sur lesquelles leur subsistance est basée.

Les institutions officielles et non officielles agissent ensemble pour soit soutenir, soit nuire à la capacité de faire face aux défis planétaires comme le changement climatique. Les efforts déployés pour améliorer la capacité d'adaptation doivent tenir compte des facteurs institutionnels en place. Dans la mesure où les institutions de gouvernance organisent les relations entre l'État et la société civile, elles sont essentielles au développement de la capacité d'adaptation. Le capital social peut servir à mobiliser les ressources pour assurer le bien-être des personnes, des groupes et des collectivités, et jouer un rôle particulièrement important lorsqu'il s'agit de composer avec les incertitudes et les déséquilibres créés par le changement climatique, car il peut compléter, voire remplacer, les efforts des gouvernements. Les quelques études disponibles montrent que les personnes dont le capital social est grand sont en moyenne plus informées et plus optimistes à l'égard des problèmes liés au changement climatique et à la qualité de l'eau, et mieux en mesure d'agir.

RÉFÉRENCES

- Adger, N. « Institutional adaptation to environmental risk under the transition in Vietnam », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90, n° 4, 2000, pp. 738-758.
- Adger, N. « Social aspects of adaptive capacity », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, B. Smit, R. Klein, et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 29-50.
- Administration du rétablissement agricole des Prairies. *Prairie agricultural landscapes: a land resource review*, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Regina (Saskatchewan), 2000, 179 p.
- Agence de santé publique du Canada. « Syndrome pulmonaire du hantavirus au Canada, 1989-1999 », Agence de santé publique du Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, n° 8, 2000, <<http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/00vol26/dr2608ea.html>>, [consultation : 4 juin 2007].
- Agence de santé publique du Canada. *Fiche technique santé-sécurité – matières infectieuses : hantavirus*, Agence de santé publique du Canada, 2001, <<http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds74e.html>>, [consultation : 4 juin 2007].
- Agence de santé publique du Canada. « Sommaire des maladies à déclaration obligatoire », Agence de santé publique du Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 28, n° 11, 2002, p. 94-95.
- Agence de santé publique du Canada. *Santé de la population : qu'est-ce qui détermine la santé?*, Agence de santé publique du Canada, 2004a, <<http://www.phac-aspc.gc.ca/ph-sp/phdd/determinants/determinants.html#income>>, [consultation : novembre 2005].
- Agence de santé publique du Canada. *West Nile virus: results of human testing by health region, surveillance maps, Canada*, 2003, Agence de santé publique du Canada, 2004b, <<http://www.phac-aspc.gc.ca/wnv-vwn/index.html>>, [consultation : mars 2006].
- Agence de santé publique du Canada. *West Nile virus: results of human testing by health region, surveillance maps, Canada* 2005, Agence de santé publique du Canada, 2004c <<http://www.phac-aspc.gc.ca/wnv-vwn/index.html>>, [consultation : mars 2006].
- Akinremi, O. O., S.M. McGinn et H.W. Cutforth. « Precipitation Trends on the Canadian Prairies », *Journal of Climate*, vol. 12, n° 10, 1999, pp. 2996-3003.
- Alberta Economic Development. *Tourism statistics*, Alberta Economic Development, Statistics and Publications, 2006, <<http://www.alberta-canada.com/statpub/tourismStatistics/index.cfm>>, [consultation : 30 mai 2007].
- Alberta Energy. Oil Sands, 2005, *Alberta Energy, 2005*, <<http://www.energy.gov.ab.ca/89.asp>>, [consultation : novembre 2006].
- Alberta Environment. *South Saskatchewan River basin water management plan, phase one water allocation transfers*, Appendices, Edmonton, Alberta Environment, 2002, 33 p.
- Alberta Environment. *Water management plan for the South Saskatchewan River basin in Alberta*, ébauche (approuvée), Alberta Environment, 2005, 43 p.
- Alberta Environment. *Alberta implements water management plan for the South Saskatchewan River basin: plan sets a balance between needs of environment and economy*, communiqué de presse, Alberta Environment, 2006, <<http://www.gov.ab.ca/acn/200608/2043260C967C4-CBB8-C14F-F0EFFFCE8EF4EF81.html>>, [consultation : 30 mai 2007].
- Alberta Reforestation Standards Science Council. *Linking regeneration standards to growth and yield and forest management objectives*, rédigé par le Alberta Reforestation Standards Science Council pour Alberta Sustainable Resource Development, 2001, 57 p., <http://srd.gov.ab.ca/forests/pdf/ARSSC_Report.pdf>, [consultation : 30 mai 2007].
- Alberta Sustainable Resource Development. *Standards for tree improvement in Alberta*, Alberta Sustainable Resource Development, Land and Forest Division, 2005, 115 p., <http://www.srd.gov.ab.ca/forests/pdf/STIManual%20JUL29_05.pdf>, [consultation : 30 mai 2007].
- Alberta Sustainable Resource Development. *Beetle bulletin: mountain pine beetle activities in Alberta*, Alberta Sustainable Resource Development, Mountain Pine Beetle Program, 2007, 4 p., <<http://srd.alberta.ca/forests/pdf/Beetle%20Bulletin%20-%20April.pdf>>, [consultation : 30 mai 2007].
- Amthor, J.S et D.D. Baldocchi. « Terrestrial higher plant respiration and net primary production », dans *Terrestrial Global Productivity*, J. Roy, B. Saugier et H. Mooney (éd.), Academic Press, San Diego, 2001, pp. 33-59.
- Anderson, J., I. Craine, A. Diamond et R. Hansell. « Impacts du changement et de la variabilité climatiques sur les écosystèmes non aménagés, la biodiversité et les espèces sauvages », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, volume 7 sur les questions sectorielles, G. Koshida et A. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 129-202.
- Anderson, P.W., M. Kliman et R. Difrancesco. « Potential impacts of climate warming on hydrocarbon production in the northern Mackenzie Basin », dans *MacKenzie Basin Impact Study Final Report*, S. Cohen (éd.), Environnement Canada, 1997, pp. 247-252.
- Andrey, J. et B. Mills. « Climate change and the Canadian transportation system: vulnerabilities and adaptations », chapitre 9 dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, Monographie 55, 2003a, pp. 235-279.
- Andrey, J. et B. Mills. *Collisions, casualties, and costs: weathering the elements on Canadian roads*, Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Paper Series, no 33, 2003b, 31 p., <http://www.iclr.org/pdf/AndreyMills_Collisions-casualties-costs_ICLR-2003-report_July4-03.pdf>, [consultation : 30 mai 2007].
- Andrey, J., B. Mills, M. Leahy et J. Suggett. « Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities », *Natural Hazards*, vol. 28, n° 2-3, 2003, pp. 319-343.
- Archibald, D.J., W.B. Wiltshire, D.M. Morris et B.D. Batchelor. *Forest management guidelines for the protection of the physical environment, version 1.0*, Ministère des ressources naturelles de l'Ontario, Rapport no 51032, 1997, 42 p.
- Arctic Climate Impacts Assessment. *Arctic Climate Impacts Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2004, 1042 p.
- Arnfield, A. J. « Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island », *International Journal of Climatology*, vol. 23, n° 1, 2003, pp.1 - 26.
- Arthur, L.M. « The implications of climate change for agriculture in the Prairie Provinces », Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, *Climate Change Digest* 88-01, 1988, pp. 1-11.
- Ashmore, P et M.Church. *The impact of climate change on rivers and river processes in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 555, 2001, pp. 1-48.
- Azmier, J. J. *Manitoba in profile*, rapport rédigé par la Canada West Foundation pour le Business Council of Manitoba, 2002, 16 p.
- Bachelet, D., J.M. Lenihan, C. Daly, R.P. Neilson, D.S. Ojima et W.J. Parton. *A dynamic vegetation model for estimating the distribution of vegetation and associated ecosystem fluxes of carbon, nutrients, and water technical documentation*, version 1.0, United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-508, 2001, 95 p.
- Baldocchi, D.D. et J.S. Amthor. « Canopy photosynthesis: history, measurements and models », dans *Terrestrial Global Productivity*, Roy, J., B. Saugier et H. Mooney (éd.), Academic Press, San Diego, Californie, 2001, pp. 9-31.
- Banque mondiale. *Sustaining Development in a Dynamic World: Transforming Institutions, Growth, and Quality of Life*, Banque mondiale et Oxford University Press, Washington, DC, 2002, 271 p.
- Barrow, E. et G. Yu. *Climate scenarios for Alberta*; rapport rédigé pour Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan) en co-opération avec Alberta Environment, 2005, 73 p.
- Barrow, E., B. Maxwell et P. Gachon (éd.). *Climate variability and change in Canada: present, past and future*; Environnement Canada, Service météorologique, ACSD Science Assessment Series, no 2, 2004, 114 p.
- Beaubien, E.G. « Plantwatch: tracking the biotic effects of climate change using students and volunteers – is spring arriving earlier on the Prairies? », dans *The Ecological Monitoring and Assessment Network Report* (Environnement Canada), Troisième réunion scientifique nationale tenue en janvier 1997 à Saskatoon (Saskatchewan), 1997, pp. 66-68.
- 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.
- Beaulieu, M.S. et F. Bédard. *A geographic profile of Canadian livestock, 1991-2001*, Statistique Canada, Agriculture and Rural Working Paper Series, Document de travail no 62, 2003, 32 p.
- Bentham G. et I.H. Langford. « Environmental temperatures and the incidence of food poisoning in England and Wales », *International Journal of Biometeorology*, vol. 45, n° 1, pp. 22-26.
- 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.
- Bernard S.M., J.M. Samet, A. Grambsch, K.L. Ebi et L. Romieu. « The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément no 2, 2001, pp. 199-209.
- Bethke, R.W. et T.D. Nudds. « Effects of climate change and land use on duck abundance in Canadian prairie-parklands », *Ecological Applications*, vol. 5, n° 3, 1995, pp. 588-600.
- Bjornlund, H., J. McKay et J. Pisanelli. *Waste not – want not*, rapport remis au Water Conservation Partnership Project – Incentive Scheme Study, University of South Australia, Adelaide, Australie, 2001.
- Blair, D. et W.F. Rannie. « Wading to Pembina: 1849 spring and summer weather in the valley of the Red River of the north and some climatic implications », *Great Plains Research*, vol. 4, n° 1, 1994, pp. 3-26.
- Bloomfield, J. et F. Tubiello. « Impacts of Climate Change in the United States: Agriculture », dans *National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change*; Union of Concerned Scientists, 2000, <<http://www.climatehotmap.org/impacts/agriculture.html>>, [consultation : 31 mai 2005].
- Bowman, D.M.J.S. et F.H. Johnston. « Wildfire smoke, fire management, and human health », *EcoHealth*, vol. 2, n° 1, 2005, pp. 76-80.
- 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, n° 1, 2004, pp. 119-141.

- Breslow, P.B. et D.J. Sailor. « Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States », *Renewable Energy*, vol. 27, n° 4, 2002, pp. 585-598.
- Bridgman, S.A., R.M. Robertson, Q. Syed, N. Speed, N. Andrews et P.R. Hunter. « Outbreak of cryptosporidiosis associated with a disinfected groundwater supply », *Epidemiology and Infection*, vol. 115, n° 3, 1995, pp. 555-566.
- Brown, R. *Snow cover response to climate warming, State of the Canadian Cryosphere*, 2006, <<http://www.socc.ca/snow/variability/index.cfm>>, [consultation : 31 mai 2007].
- Bruce, J.P. « Oil and water – will they mix in a changing climate? The Athabasca River story », dans *Implications of a 2°C Global Temperature Rise on Canada's Water Resources*, Athabasca River and Oil Sands Development, Great Lakes and Hydropower Production, T. Tin (éd.), rapport rédigé pour le Sage Centre, 2006, pp. 12-34., <http://www.tidescanada.org/cms/File/sagereport_nov0106.pdf>, [consultation : 16 juillet 2007].
- Burn, D. « Hydrologic effects of climate change in west-central Canada », *Journal of Hydrology*, vol. 160, 1994, pp. 53-70.
- Burnett, R.T., J.R. Brook, W.T. Yung, R.E. Dales et D. Krewski. « Association between ozone hospitalizations for respiratory diseases in 16 Canadian cities », *Environmental Research*, vol. 72, n° 1, 1997, pp. 24-31.
- Burnett, R.T., S. Cakmak et J.R. Brook. « The effect of the urban ambient air pollution mix on daily mortality rates in 11 Canadian cities », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 89, n° 3, 1998, pp. 152-156.
- Burton, I. et B. Lim. « Achieving adequate adaptation in agriculture », *Climatic Change*, vol. 70, n° 1-2, 2005, pp. 191-200.
- Byrne, J.M. Three phase runoff model for small prairie rivers: I. frozen soil assessment; *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 14, n° 1, 1989, pp. 17-28.
- Canadian Climate Impact Scenarios Project. *Bioclimate profiles*; rédigé pour le Canadian Climate Adaptation Fund, Canadian Institute for Climate Studies, Victoria (Colombie-Britannique), 2002, <<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/bcp/select.cgi?&sn=55>>, [consultation : 31 mai 2007].
- Carroll, A.L., S.W. Taylor, J. Régnière et L. Safranyik. « Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia », dans *Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions*, October 30-31, 2003, Kelowna, British Columbia, Canada, T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, centre de foresterie du Pacifique, Rapport d'information BC-X-399, 2004, pp. 223-232.
- Carr, A., P. Weedon et E. Cloutis. *Climate Change Implications in Saskatchewan's Boreal Forest Fringe and Surrounding Agricultural Areas*, Geospatial Consulting, Prince Albert, Saskatchewan, 2004, 99 p.
- Cecil, B., H. Diaz, D. Gauthier et D. Sauchyn. *Social dimensions of the impact of climate change on water supply and use in the City of Regina*, rapport préparé par le Social Dimensions of Climate Change Working Group pour le Canadian Plains Research Center, University of Regina, Regina (Saskatchewan), 2005, 54 p.
- Centres for Disease Control and Prevention. *West Nile Virus: what you need to know*, Centres for Disease Control and Prevention, Department of Health and Human Services, Division of Vector-Borne Infectious Diseases, CDC fact sheet, 2005, 2 p.
- Centre for Indigenous Environmental Resources. *Climate change impacts on ice, winter roads, access trails, and Manitoba First Nations*, rapport final, novembre 2006, Ressources naturelles Canada et Affaires indiennes et du Nord Canada, 2006, 210 p.
- Charron, D.F., M.K. Thomas, D. Waltner-Toews, J.J. Aramini, T. Edge, R.A. Kent, A.R. Maarouf et J. Wilson. « Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada », *Journal of Toxicology and Environmental Health*, partie A, vol. 67, n° 20-22, 2004, pp. 1666-1677.
- Charron, D.F., D. Waltner-Toews, A. Maarouf et M. Stalker. « A synopsis of the known and potential diseases and parasites of humans and animals associated with climate change in Ontario », dans *A Synopsis of the Known and Potential Diseases and Parasites of Humans and Animals Associated with Climate Change*, S. Griefenhagen et T. Noland (éd.), ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Report, no 154, 2003, pp. 7-89.
- Charron, D.F., T. Edge, M.D. Fleury, W. Galatianos, D. Gillis, R. Kent, A.R. Maarouf, C. Neudoerffer, C.J. Schuster, M.K. Thomas, D. Waltner-Toews et J. Valcour. *Links between climate, water and waterborne illness, and projected impacts of climate change*, rapport technique rédigé pour le Health Policy Research Program (HPRP), Dossier no 6795-15-2001/4400016c, 2005.
- Chen, Z., S.E. Grasby et K.G. Osadetz. « Predicting average annual groundwater levels from climatic variables: an empirical model », *Journal of Hydrology*, vol. 260, 2002, pp. 102-117.
- Clair, T., B. Warner, R. Robarts, H. Murkin, J. Lilley, L. Mortsch et C. Rubec. « Les milieux humides du Canada et le changement climatique », chapitre 3 dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique* (Volume 7 sur les questions sectorielles), G. Koshida et A. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 203-236.
- Conseil canadien des ministres des forêts. *Defining sustainable forest management in Canada: criteria and indicators*, Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa (Ontario), 2003, 21 p., <http://www.ccfm.org/ci/CI_Booklet_e.pdf>, [consultation : 31 mai 2007].
- Conservation Manitoba. *Forest renewal in Manitoba*, Conservation Manitoba, Direction de la foresterie, 2005, <www.gov.mb.ca/conservation/forestry/forest-renewal/fr1-intro.html>, [consultation : 5 juin 2007].
- Coote, D.R. « The extent of soil erosion in western Canada », dans *Soil Erosion and Land Degradation*, Proceedings Second Annual Western Provincial Conference, Rationalization of Water and Soil Research and Management, Saskatchewan Institute of Pedology, Saskatoon, (Saskatchewan), 1983, pp. 34-48.
- Coote, D.R. et L.J. Gregorich (éd.). *The health of our water – toward sustainable agriculture in Canada*, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Secteur de la recherche, Direction de la planification et de la coordination de la recherche, 2000, 173 p.
- Crabbé, P. et M. Robin. « Institutional adaptation of water resource infrastructures to climatic change in eastern Ontario », *Climatic Change*, vol. 78, 2006, pp. 103-133.
- Crosson, P. « Agriculture and Climate Change », dans *Climate Change Economic s and Policy: An RFF Anthology*, M. A. Toman (éd.), Resources for the Future, Washington, DC, 2001, pp. 61-66.
- Cubasch, U., G.A. Meehl, G.J. Boer, R.J. Stouffer, M. Dix, A. Noda, C.A. Senior, S. Raper, et K.S. Yap. « Projections of future climate change », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, contribution du groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupes d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.I. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2002, pp. 525-582.
- Davidson, D.J. *A preliminary assessment of climate change vulnerability in Alberta: the social dimensions*; rapport final remis à Alberta Environment, Alberta Vulnerability Assessment Project, 2006, 204 p.
- Davidson, D.J., T. Williamson et J.R. Parks. « Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 33, n° 11, 2003, pp. 2252-2261.
- Davis, M.B. et C. Zabinski. « Changes in geographical range resulting from greenhouse warming effects on biodiversity in forests », dans *Global Warming and Biological Diversity*, R.L. Peters et T.E. Lovejoy (éd.), Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1992, pp. 297-308.
- Deary, I.J. et W.J. McGregor. « Stress in farming », *Stress Medicine*, vol. 13, n° 2, 1997, pp. 131-136.
- de Groot, W., P. Bothwell, D. Carlsson, K. Logan, R. Wein et C. Li. « Forest fire management adaptation to climate change in the Prairie Provinces », Service canadien des forêts, University of Alberta, Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina, 2002, 97 p.
- DeLucia, E., J. Hamilton, S. Naidu, R. Thomas, J. Andrews, A. Finzi, M. Lavine, R. Matamala, J. Mohan, G. Hendrey et W. Schlesinger. « Net primary production of a forest ecosystem with experimental CO₂ enrichment », *Science*, vol. 284, n° 5417, 1999, pp. 1177-1179.
- Demadis, K.P. « Scale formation and removal », *Power*, vol. 148, n° 6, 2004, pp. 19-23.
- Demuth, M.N. et A. Pietroniro. *The impact of climate change on the glaciers of the Canadian Rocky Mountain eastern slopes and implications for water resource-related adaptation in the Canadian prairies*, Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan), Project P55, 2003, 111 p.
- Diaz, H. et D. Gauthier. « Institutional capacity for agriculture in the South Saskatchewan River basin », chapitre 10 dans *Farming in a Changing Climate: Agricultural Adaptation in Canada*, E. Wall, B. Smit et J. Wandel (éd.), UBC Press, Vancouver (Colombie-Britannique), sous presse.
- Diaz, H. et M. Nelson. « Rural community, social capital and adaptation to climate change », *Prairie Forum*, vol. 30, n° 2, 2006, pp. 289-312.
- Diaz, H. et M. Nelson. « Changing prairie social landscape of Saskatchewan: the social capital and social cohesion of rural communities », *Prairie Forum*, vol. 30, n° 1, 2004, pp. 43-54.
- Diaz, H.P., J. Jaffe et R. Stirling. *Farm communities at the crossroads: challenge and resistance*, Canadian Plains Research Centre, Regina, 2003, 353 p.
- do Pico, G.A. « Report on disease », *American Journal of Industrial Medicine*, 1986, vol. 10, n° 3, pp. 261-265.
- do Pico, G.A.. « Hazardous exposures and lung diseases among farm workers », *Clinics in Chest Medicine*, vol. 13, n° 2, 1992, pp. 311-328.
- D'Souza, R.M., N.G. Becker, G. Hall et K.B.A. Moodie. « Does ambient temperature affect foodborne disease? », *Epidemiology*, vol. 15, n° 1, 2004, pp. 86-92.
- Duncan, K., T. Guidotti, W. Cheng, K. Naidoo, G. Gibson, L. Kalkstein, S. Sheridan, D. Waltner-Toews, S. MacEachern et J. Last. « Étude pancanadienne sur la variabilité et le changement climatique – Secteur de la santé », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, volume VII sur les questions sectorielles, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 545-644.
- Durkin, M.S., N. Khan, L.L. Davidson, S.S. Zaman et Z.A. Stein. « The effects of a natural disaster on child behaviour: evidence for posttraumatic stress », *American Journal of Public Health*, vol. 83, n° 11, 1993, pp. 1549-1553.
- Ehlers, J.K., C. Connon, C.L. Themann, J.R. Myers et T. Ballard. « Health and safety hazards associated with farming », *American Association of Occupational Health Nurses (AAOHN) Journal*, vol. 41, n° 9, 1993, pp. 414-421.
- Engelthaler, D.M., D.G. Mosley, J.E. Cheek, C.E. Levy, K.K. Komatsu, P. Ettestad, T. Davis, D.T. Tanda, L. Miller, J.W. Frampton, R. Porter et R.T. Bryan. « Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners Region, United States », *Emerging Infectious Disease*, vol. 5, n° 1, 1999, pp. 87-94.

- Environnement Canada. *Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, série des rapports d'évaluation scientifique, no 1, 2001, 72 p.
- Environnement Canada. *Les dix événements météorologiques les plus marquants de 2004*, Environnement Canada, 2004a, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/media/top10/2004_f.html#topten>, [consultation : 1 juin 2007].
- Environnement Canada. *La nature de l'eau – les eaux souterraines*, Environnement Canada, 2004b, <http://www.ec.gc.ca/water/en/nature/grdwtr/e_gdwtr.htm>, [consultation : 1 juin 2007].
- Environnement Canada. *Adjusted historical Canadian climate data*; Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Direction de la recherche climatique, 2005, <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/hccd/>, [consultation : 1 juin 2007].
- Epp, R. et D. Whitson. « Writing off rural communities? », dans *Writing Off the Rural West: Globalization, Governments, and the Transformation of Rural Communities*, R. Epp et D. Whitson (éd.), University of Alberta Press, Edmonton (Alberta), 2001, p. xiii-xxxv.
- Epstein, P.R. « West Nile virus and the climate », *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, vol. 78, n° 2, 2001, pp. 367-371.
- Ermine, W., R. Nilson, D. Sauchyn, E. Sauvé et R. Smith. « ISI ASKIWAN – the state of the land: Prince Albert Grand Council Elders' Forum on climate change », *Journal of Aboriginal Health*, vol. 2, n° 1, 2005, pp. 62–75.
- Evans, S.G. *Climate change and geomorphological hazards in the Canadian Cordillera*, Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Rapport A099, 2002, 14 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/71_e.pdf>, [accessed June 1, 2007].
- Evans, S.G. et J.J. Clague. « Recent climate change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments », *Geomorphology*, vol. 10, n° 1-4, 1994, pp. 107-128.
- Evans, S.G. et J.J. Clague. « The impact of climate change on catastrophic geomorphic processes in the mountains of British Columbia, Yukon and Alberta », chapitre 7 dans *The Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, volume 1: Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon, E. Taylor et B. Taylor (éd.), British Columbia Ministry of Environment Lands and Parks et Environnement Canada, Vancouver (British Columbia), 1997, pp. 1-16.
- Field, J., T. Schuller et S. Baron. « Human and social capital revisited », dans *Social Capital. Critical Perspectives*, S. Baron, J. Field et T. Schuller (éd.), Oxford University Press, New York, New York, 2000, pp. 243-263.
- Flannigan, M.D., K.A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner et B.J. Stocks. « Future area burned in Canada », *Climatic Change*, vol. 72, n° 1-2, 2005, pp. 1-16.
- Fleury, M., D.F. Charron, J.D. Holt, O.B. Allen et A.R. Maarouf. « A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces », *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, n° 6, 2006, pp. 385–391.
- Foley, J.A., I.C. Prentice, N. Ramankutty, S. Levis, D. Pollard, S. Sitch et A. Haxeltine. « An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 10, n° 4, 1996, pp. 603-628.
- Ford, J.D. et B. Smit. « A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change », *Arctic*, vol. 57, n° 4, 2004, pp. 389–400.
- Frellich, L. et K. Puettmann. « Restoration ecology », dans *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*, M. Hunter (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1999, pp. 499-524.
- Gameda, S., B. Qian et A. Bootsma. *Climate change scenarios for agriculture*, présentation faite à Adapté to Climate Change in Canada 2005, du 4 au 7 mai 2005, à Montréal (Québec), Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 2005.
- Gan, T.Y. « Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies », *Water Resources Research, American Geophysical Union*, vol. 34, n° 11, 1998, pp. 3009-3015.
- Gerber, S., F. Joos et I.C. Prentice. « Sensitivity of a dynamic global vegetation model to climate and atmospheric CO₂ », *Global Change Biology*, vol. 10, n° 8, 2004, pp. 1223-1239.
- Ginexi, E.M., K. Weihs, S.J. Simmens et D.R. Hoyt. « Natural disaster and depression: a prospective investigation of reactions to the 1993 Midwest floods », *American Journal of Community Psychology*, vol. 28, n° 4, 2000, pp. 495-518.
- Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow, J. Antle, M. Apps, R. Beamish, T. Chapin, W. Cramer, J. Frangi, J. Laine, J. Erda, Lin, J. Magnuson, I. Noble, J. Price, T. Prowse, T. Root, E. Schulze, O. Sirotenko, B. Sohngen et J. Soussana. « Ecosystems and their goods and services », chapitre 5 dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2001, pp. 235-342.
- Gitay, H., A. Suárez, R.T. Watson et D. Dokken (éd.). *Climate change and biodiversity*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Bonn, Allemagne, Publication technique no 4, 2002, 27 p.
- Glaeser, E. « The formation of social capital », *Isuma*, vol. 2, n° 1, 2001, pp. 34–40.
- Glass, G.E., J.E. Check, J.A. Patz, T.M. Shields, T.J. Doyle, D.A. Thoroughman, D.K. Hunt, R.E. Encore, K.L. Gage, C. Ireland, C.J. Peters et R. Bryan. « Using remotely sensed data to identify areas of risk for hantavirus pulmonary syndrome », *Emerging Infectious Disease*, vol. 6, n° 3, 2000, pp. 238-247.
- Gouvernement de l'Alberta. *Water for Life: Alberta's strategy for sustainability*, Government of Alberta, 2003, <http://www.waterforlife.gov.ab.ca/docs/strategyNov03.pdf>, [consultation : 1 juin 2007].
- Gouvernement de l'Alberta. *State of the environment – water: sectoral allocations – South Saskatchewan River basin*, Government of Alberta, 2006, <http://www3.gov.ab.ca/env/soe/water_indicators/26_SouthSask_sub.html> [consultation : 29 mai 2007].
- Gouvernement de la Saskatchewan. *Speech from the throne 2005: toward our new century*, Gouvernement de la Saskatchewan, 2005, <http://www.executive.gov.sk.ca/pdf_documents/throne_speeches/November2005/TS2005.pdf>, [consultation : 4 juin 2007].
- Gracia, C., S. Sabaté, B. López et A. Sánchez. « Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global », dans *Ecosistemas Mediterráneos: Análisis Funcional*, R. Zamora et F. Pugnaire (éd.), Consejo Superior de Investigaciones Científicas et Asociación Española de Ecología Terrestre, Madrid, Espagne, 2001, pp. 351-372.
- Gracia, C., S. Sabaté et A. Sánchez. « El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo », *Ecosistemas*, vol. 11, n° 2, 2002, 10 p., <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/300.pdf>, [consultation : 4 juin 2007].
- Greenough, G., M. McGeehin, S.M. Bernard, J. Trtanj, J. Riad et D. Engelberg. « The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 191-198.
- Gregory, J.M., J.F.B. Mitchell et A.J. Brady. « Summer drought in northern midlatitudes in a time-dependent CO₂ climate experiment », *Journal of Climate*, vol. 10, n° 4, 1997, pp. 662-686.
- Grenci, L. « Planes, trains and automobiles », *Weatherwise*, vol. 48, 1995, 48 p.
- Griffiths, M., A. Taylor et D. Woynillowicz. *Troubled waters, troubling trends: technology and policy options to reduce water use in oil and oil sands development in Alberta*, The Pembina Institute, Drayton Valley (Alberta), 2006, 171 p. (première édition).
- Grigal, D.F. « Effects of extensive forest management on soil productivity », *Forest Ecology and Management*, vol. 138, n° 1-3, 2000, pp. 167-185.
- Groisman, P.Y., R.W. Knight, D.R. Easterling, T.R. Karl et V.N. Razuvayev. « Trends in intense precipitation in the climate record », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 9, 2005, pp. 1326-1350.
- Gubler, D.J., P. Reiter, K.L. Ebi, W. Yap, R. Nasci et J.A. Patz. « Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 223-233.
- Haas, R., N. Li et S. Tighe. *Roughness trends at C-SHRP LTPP sites, Roads and Transportation Association of Canada*, Ottawa (Ontario), Final Project Report, 1999, 97 p.
- Hall, A. « Water: water and governance », dans *Governance for Sustainable Development*, G. Ayre et R. Callway (éd.), A Foundation for the Future, Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 111-128.
- Hall, G.V., R.M. D'Souza, M.D. Kirk. « Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire », *Medical Journal of Australia*, vol. 177, n° 11-12, 2002, pp. 614-618.
- Halpin, P. « Global climate change and natural-area protection: management responses and research directions », *Ecological Applications*, vol. 7, n° 3, 1997, pp. 828-843.
- Harker, B., J. Lebedin, M.J. Goss, C. Madramootoo, D. Neilsen, B. Paterson et T. van der Gulik. « Land-use practices and changes – agriculture », dans *Threats to Water Availability in Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherches sur les eaux, NWRI Scientific Assessment Report Series, no 3 et ACSD Science Assessment Series, no 1, 2004, pp. 49–55.
- Harvell, C., C. Mitchell, J. Ward, S. Altizer, A. Dobson, R. Ostfeld et M. Samuel. « Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota », *Science*, vol. 296, n° 5576, 2002, pp. 2158-2162.
- Headley, J.V. et D.W.A. McMartin. « Review of the occurrence and fate of naphthenic acids in aquatic environments », *Journal of Environmental Science and Health, Part A – Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, vol. 39, n° 8, 2004, pp. 1989–2010.
- Henderson, N., T. Hogg, E. Barrow et B. Dolter. *Climate change impacts on the island forests of the Great Plains and the implications for nature conservation policy*, Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan), 2002, 116 p.
- Herrington, R., B. Johnson et F. Hunter. « Responding to global climate change in the Prairies », volume III de *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Environnement Canada, Ottawa, 1997, 44 p.
- Hirsch, T. *A soft landing: Saskatchewan's economic profile and forecast*, Canada West Foundation, Calgary (Alberta), 2005a, 6 p.
- Hirsch, T. *Firing on (almost) all cylinders – Alberta's economic profile and forecast*, Canada West Foundation, Calgary (Alberta), 2005b, 8 p.
- Hoekman, S.T., L.S. Mills, D.W. Howerter, J.H. Devries et I.J. Ball. « Sensitivity analyses of the life cycle of mid-continent mallards », *Journal of Wildlife Management*, vol. 66, n° 3, 2002, pp. 883–900.
- Hofmann, N., L. Mortsch, S. Donner, K. Duncan, R. Kreuzwiser, S. Kulshreshtha, A. Piggott, S. Schellenberg, B. Schertzerand et M. Slivitzky. « Climate change and variability: impacts on Canadian water », dans *The Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Volume VII: National Sectoral Issue, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 1–120.

- Hogg, E.H. et P.Y. Bernier. « Climate change impacts on drought-prone forests in western Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2002, pp. 675-682.
- Hogg, E.H. et P.A. Hurdle. « The aspen parkland in western Canada: a dry climate analogue for the future boreal forest? », *Air, Water, and Soil Protection*, vol. 82, n° 1-2, 1995, pp. 391-400.
- Hogg, E.H. et A.G. Schwarz. « Regeneration of planted conifers across climatic moisture gradients on the Canadian Prairies: implications for distribution and climate change », *Journal of Biogeography*, vol. 24, n° 4, 1997, pp. 527-534.
- Hogg, E.H., J.P. Brandt et B. Kochtubajda. « Factors affecting interannual variation in growth of western Canadian aspen forests during 1951-2000 », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 3, 2005, pp. 610-622.
- Hogg, E.H., J.P. Brandt, B. Kochtubajda, M. Michaelian et B.R. Frey. « Impact of the 2001-2003 drought on productivity and health of western Canadian aspen forests », dans *Proceedings of the 53rd Western International Forest Disease Work Conference*, September 26-29, 2005, Jackson, Wyoming and Ogden, Utah, J.C. Guyon (comp.), United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, 2006, pp. 89-94.
- Holman, I.P., R.J. Nicholls, P.M. Berry, P.A. Harrison, E. Audsley, S. Shackley et M.D.A. Rounsevell. « A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK: Part II, results », *Climatic Change*, vol. 71, n° 1-2, 2005a, pp. 43-73.
- Holman, I.P., M.D.A. Rounsevell, S. Shackley, P.A. Harrison, R.J. Nicholls, P.M. Berry et E. Audsley. « A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK, Part I, Methodology », *Climatic Change*, vol. 71, n° 1-2, 2005b, pp. 9-41
- Homer-Dixon, H. *Environment, scarcity, and violence*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1999, 272 p.
- Huang, Y.F., G.H. Huang, C. Z.Y. Hua, I. Maqsooda, A. Chakmad. « Development of an expert system for tackling the public's perception to climate-change impacts on petroleum industry », *Expert Systems with Applications*, vol. 29, n° 4, 2005, pp. 817-829.
- Huhn, G.D., J.J. Sejvar, S.P. Montgomery et M.S. Dworkin. « West Nile Virus in the United States: an update on an emerging infectious disease », *American Family Physician*, vol. 68, n° 4, 2003, pp. 653-660.
- Hyland, R., J. Byrne, B. Selinger, T.A. Graham, J. Thomas, I. Townshend et V.P.J. Gannon. « Spatial and temporal distribution of fecal indicator bacteria within the Oldman River basin of southern Alberta, Canada », *Water Quality Research Journal of Canada*, vol. 38, n° 1, 2003, pp. 15-32.
- IBI Group. « The implications of long-term climatic changes on transportation in Canada », Environnement Canada, *Climatic Change Digest*, CCD90-02, 1990, 8 p.
- Inkley, D.B., M.G. Anderson, A.R. Blaustein, V.R. Burkett, B. Felzer, B. Griffith, J. Price et T.L. Root. *Global climate change and wildlife in North America*, The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, Technical Review 04-2, 2004, 26 p.
- Irrigation Water Management Study Committee. *South Saskatchewan River basin: irrigation in the 21st century*, volume 1: summary Report, Alberta Irrigation Projects Association, Lethbridge (Alberta), 2002, 175 p.
- James, P., K. Murphy, R. Espie, D. Gauthier et R. Anderson. *Predicting the impact of climate change on fragmented prairie biodiversity: a pilot landscape model*, Saskatchewan Environment and Resource Management - Canadian Plains Research Centre, Regina (Saskatchewan), 2001, 24 p.
- Jensen, L.D. « Don't know much about water history? », *Electrical World New York*, vol. 212, n° 1, 1998, p. 37
- Johnson, J.W. et L.J. Caster. « Tradeability of water rights: experiences of the western United States », dans *FAO Issues in Water Law Reform*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Bureau du contentieux, Rome, Italie, 1999, pp. 151-180.
- Johnson, J.Y.M., J.E. Thomas, T.A. Graham, I. Townshend, J. Byrne, B. Selinger et V.P.J. Gannon. « Prevalence of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in surface waters of southern Alberta and its relation to manure sources », *Revue canadienne de microbiologie*, vol. 49, n° 5, 2003, pp. 326-335.
- Johnston, M. « The role of disturbance in boreal mixedwood forests of Ontario », dans *Advancing Boreal Mixedwood Management in Ontario: Proceedings of a Workshop*, C.R. Smith et G.W. Crook (comp.), Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario), 1996, pp. 33-40.
- 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. « The cost of safety and mobility in Canada: winter road maintenance », chapitre 4 dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, Monograph 55, 2003.
- Jones, B. et D. Scott. « Climate change, seasonality and visitation to Canada's national parks », *Journal of Parks and Recreation Administration*, vol. 24, n° 2, 2006, pp. 42-62.
- Jones, D.K.C. « Global warming and geomorphology », *The Geographical Journal*, vol. 159, n° 2, 1993, pp. 124-130.
- Jones M. et M. Schmeiser, « Community economic viability in rural Saskatchewan », *Prairie Forum*, vol. 29, n° 2, 2004, pp. 281-300.
- Joyce, L., D. Ojima, G. Seielstad, R. Harriss et J. Lockett. « Potential consequences of climate variability and change for the Great Plains », chapitre 7 dans *The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, rapport rédigé à l'intention du US Global Change Research Programme, National Assessment Synthesis Team, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2001, pp. 191-217.
- Kasperson, R. et J. Kasperson. « Climate change, vulnerability and social justice », dans *The Social Contours of Risk*. Volume I: Publics, Risk Communication, and the Social Amplification of Risk, J. Kasperson et R. Kasperson (éd.), Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 281-300.
- Kellomäki, S. et S. Leinonen (éd.). *Management of European forests under changing climatic conditions*, Université de Joensuu, Joensuu, Finlande, Faculté de Foresterie, Rapport de recherche 163, 2005, 21 p.
- Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM », *Journal of Climate*, vol. 13, n° 21, 2000, pp. 3760-3788.
- Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Estimating extremes in transient climate change simulations », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 8, 2005, pp. 1156-1173.
- Kienzie, S.W. « The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought », *Water Resources Management*, vol. 20, n° 6, 2006, pp. 991-1006.
- Kimmins, J.P. *Forest Ecology*, 2e édition, Prentice-Hall, New York, New York, 1997, 596 p.
- Knutilla, M. « Globalization, economic development and Canadian agricultural policy », dans *Farm Communities at the Crossroads: Challenge and Resistance*, H.P. Diaz, J. Jaffe et R. Stirling (éd.), Canadian Plains Research Centre, Regina (Saskatchewan), 2003, pp. 289-302.
- Koca, D., B. Smith et M.T. Sykes. « Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden », *Climatic Change*, vol. 78, n° 2-4, 2006, pp. 381-406.
- Kochy, M. et S.D. Wilson. « Nitrogen deposition and forest expansion in the northern Great Plains », *Journal of Ecology*, vol. 89, n° 5, 2001, pp. 807-817.
- Kovats, R.S., S.J. Edwards, S. Hajat, B.G. Armstrong, K.L. Ebi, B. Menne et le groupe collaborateur. « The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries », *Epidemiology of Infection*, vol. 132, n° 3, 2004, pp. 443-453.
- Kumar, A. *A conceptual comparison of using bioenergy options for BC's mountain pine beetle infested wood*, rapport final remis à la Biocap Canada Foundation, Kingston (Ontario), Research Integration Program, 2005, 43 p., <http://www.biocap.ca/rif/report/Kumar_A.pdf>, [consultation : 4 juin 2007].
- Kuryk, D. « Seasonal transportation to remote communities - what if? », dans *Moving Beyond the Roads: Airships to the Arctic Symposium II Proceedings*, tenu du 21 au 23 octobre 2003 à Winnipeg (Manitoba), B.E. Prentice, J. Winograd, A. Phillips et B. Harrison (éd.), University of Manitoba Transport Institute, 2003, pp. 40-49.
- Lang, L. « Danger in the dust », *Environmental Health Perspectives*, vol. 104, n° 1, 1996, pp. 26-30.
- Lantz, T.C. et N.J. Turner. « Traditional phenological knowledge of Aboriginal peoples in British Columbia », *Botanical Electronic News*, no 323 (13 février, 2004), 2004, pp. 1-6.
- Lapp, S., J. Byrne, I. Townshend et S. Kienzie. « Climate warming impacts on snowpack accumulation in an alpine watershed: a GIS based modeling approach », *International Journal of Climatology*, vol. 25, n° 3, 2005, pp. 521-536.
- Laprise, R., D. Caya, A. Frigon et D. Paquin. « Current and perturbed climate as simulated by the second-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM-II) over northwestern North America », *Climate Dynamics*, vol. 21, no 5-6, 2003, pp. 405-421.
- LaRoe, E.T. et D.H. Rusch. « Changes in nesting behavior of Arctic geese », dans *Our Living Resources: A Report to the Nation on the Distribution, Abundance, and Health of U.S. Plants, Animals, and Ecosystems*, E.T. LaRoe, G.S. Farris, C.E. Puckett, P.D. Doran et M.J. Mac (éd.), United States Department of the Interior, National Biological Service, Washington, DC, 1995, pp. 388-389.
- Last, J., K. Trouton et D. Pengelly. *Taking our breath away: the health effects of air pollution and climate change*, David Suzuki Foundation, Vancouver (Colombie-Britannique), 1998, 51 p.
- Lawson, B.D. « Trends in blizzards at selected locations on the Canadian Prairies », *Natural Hazards*, vol. 29, n° 2, 2003, pp. 123-138.
- Leggett, J., W.J. Pepper et R.J. Swart. « Emissions scenarios for the IPCC: an update », dans *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, J.T. Houghton, B.A. Callander, et S.K. Varney (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1992, pp. 69-96.
- Lemmen, D.S. et R.E. Vance. « An overview of the Palliser Triangle Global Change Project », dans *Holocene Climate and Environmental Change in the Palliser Triangle: A Geoscientific Context for Evaluating the Impacts of Climate Change on the Southern Canadian Prairies*, D.S. Lemmen et R.E. Vance (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 534, 1999, pp. 7-22.
- Lemmen, D.S., R.E. Vance, I.A. Campbell, P.P. David, Pennock, D.J. Sauchyn et S.A. Wolfe. *Geomorphic systems of the Palliser Triangle: description and response to changing climate*, Commission géologique du Canada, Bulletin 521, 1998, pp. 1-72.
- Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*; Government of Canada, 2004, 174 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/index_e.php>, [consultation : 6 mai 2007].
- Lemon, E. (éd.). *CO₂ and Plants - the response of plants to rising levels of atmospheric carbon dioxide*, Westview Press, Boulder, Colorado, 1983, 350 p.

- Leung, L.R. et S.J. Ghan. « Pacific Northwest climate sensitivity simulated by a regional climate model driven by a GCM. Part II: 2 x CO₂ Simulations », *Journal of Climate*, vol. 12, n° 7, 1999, pp. 2031-2053.
- Lindenmayer, D.B., D.R. Foster, J.F. Franklin, M.L. Hunter, R.F. Noss, F.A. Schmiegelow et D. Perry. « Salvage harvesting policies after natural disturbance », *Science*, vol. 303, n° 5662, 2004, p. 1303.
- Little, J.L., K.A. Saffran et L. Fent. « Land use and water quality relationships in the lower Little Bow River watershed, Alberta, Canada », *Water Quality Research Journal of Canada*, vol. 38, n° 4, 2003, pp. 563-584.
- Lloyd, A. H. « Ecological histories from Alaskan tree lines provide insight into future change », *Ecology*, vol. 86, n° 7, 2005, pp. 1687-1695.
- Loehle, C. et D. LeBlanc. « Model-based assessments of climate change effects on forests: a critical review », *Ecological Modelling*, 1996, vol. 90, n° 1, 1996, pp. 1-31.
- Logan, J.A., J. Régnière et J.A. Powell. « Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics », *Frontiers in Ecology and Environment*, vol. 1, n° 3, 2003, pp. 130-137.
- Long, S.P., E.A. Ainsworth, A. Rogers et D.R. Ort. « Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future », *Annual Review of Plant Biology*, vol. 55, 2004, pp. 591-628.
- Lopoukhine, N. « National parks, ecological integrity and climate change », dans *Climatic Change: Implications for Water and Ecological Resources*, G. Wall et M. Sanderson (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography publication series, Publication hors-série no 11, 1990, pp. 317-328.
- Luckman B.H. et R.J.S. Wilson. « Summer temperature in the Canadian Rockies during the last millennium – a revised record », *Climate Dynamics*, vol. 24, n° 2-3, 2005, pp. 131-144.
- Maathuis, H. et L.H. Thorleifson. « Potential impact of climate change on prairie groundwater supplies: review of current knowledge », *Prairie Adaptation Research Collaborative Report # QS-6*, Saskatchewan Research Council Publication No.11304-2E00, 2000, 23 p.
- Macdonald, G., J. Szeicz, J. Claricoats et K. Dale. « Response of the central Canadian treeline to recent climatic changes », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 88, n° 2, 1998, pp. 183-208.
- Mailman, M., L. Stepnuk, N. Cicek et R.A. Bodaly. « Strategies to lower methyl mercury concentrations in hydroelectric reservoirs and lakes: A review », *Science of the Total Environment*, vol. 368, n° 1, 2006, pp. 224-235.
- Majorowicz, J., J. Safanda et W. Skinner. « East to west retardation in the onset of the recent warming across Canada inferred from inversions of temperature logs », *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, n° 10, 2002, pp. 6-1 – 6-12.
- Majorowicz, J. A., W. R. Skinner et J. Safanda. « Ground Surface Warming History in Northern Canada Inferred from Inversions of Temperature Logs and Comparison with Other Proxy Climate Reconstructions », *Pure and Applied Geophysics*, vol. 162, n° 1, 2005, pp. 109-128.
- Malcolm, J. et A. Markham. « Ecosystem resilience, biodiversity and climate change: setting limits », *Parks*, vol. 6, 1996, pp. 38-49.
- Malcolm, J. et A. Markham. *Global warming and terrestrial biodiversity decline*, World Wildlife Fund, Gland, Suisse, 2000, 34 p.
- Manitoba Science, Technology, Energy and Mines. *Manitoba innovation framework: hydro and alternative energy development*, Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, 2007, <<http://www.gov.mb.ca/est/innovation/hydroel.html>>, [consultation : 4 juillet 2007].
- Manitoba Transportation and Government Services. *Annual report: 2005-2006*, Manitoba Transportation and Government Services, 2006, 127 p., <<http://www.gov.mb.ca/tgs/documents/tgsannual05.pdf>>, [consultation : 5 juin 2007].
- Marbek Resource Consultants. *Impacts of climate change on transportation in Canada*, rapport final rédigé pour Transports Canada de l'atelier de Canmore tenu le 30 et 31 janvier 2003 à Canmore (Alberta), 2003, 35 p., <<http://www.tc.gc.ca/programs/environment/nwicct/docs/FullWorkshopReport/Full%20Workshop%20Report.pdf>>, [consultation : 19 juin 2007].
- Marsalek, J., W.E. Watt, L. Lefrançois, B.F. Boots et S. Woods. « Municipal water supply and urban development », dans *Threats to Water Availability in Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherches sur les eaux, NWRI Scientific Assessment Report Series, no 3 et ACSD Science Assessment Series, no 1, 2004, pp. 35-40.
- May, J.J. « Issues in agricultural health and safety », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 18, n° 1, 1990, pp. 121-131.
- McCullough, G., M. Stainton et H. Kling. « Environmental controls of algal blooms in Lake Winnipeg », présentation faite à la réunion des associations canadiennes des ressources hydriques, 2006, <http://www.cwra.org/About_CWRA/CWRA_Branches/Manitoba/CWRA_MB_Forum/CWRA_2006_IW_AVHRR_vs_ChI_G_McCullough.pdf>, [consultation : 5 juin 2007].
- McGeehin, M.A. et M. Mirabelli. « The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 185-189.
- McKerracher, D. « Increasing drinking water use efficiency in a commercial Alberta pork production facility », *Advances in Pork Production*, vol. 18, 2007, pp. 83-90.
- McMartin, D.W., J.V. Headley, D.A. Friesen, K.M. Peru et J.A. Gillies. « Photolysis of naphthenic acids in natural surface water », *Journal of Environmental Science and Health, Part A – Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, vol. 39, n° 6, 2004, pp. 1361-1383.
- McRae, T., C.A.S. Smith et L.J. Gregorich (éd). *Environmental sustainability of Canadian agriculture: report of the agri-environmental indicator project. a summary*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, 2000, 220 p.
- Mellgren, P.G. et E. Heidersdorf. *The use of high floatation tires for skidding in wet and/or steep terrain*, Institut canadien de recherches en génie forestier, Vancouver (Colombie-Britannique), Rapport technique no TR-57, 1984, 47 p.
- Mendis, S., S. Mills et J. Yantz. *Building community capacity to adapt to climate change in resource-based communities*, Service canadien des forêts, document de travail, 2003, 84 p.
- Michels, A., K.R. Laird, S.E. Wilson, D. Thomson, P.R. Leavitt, R.J. Oglesby et B.F. Cumming. « Multi-decadal to millennial-scale shifts in drought conditions on the Canadian Prairies over the past six millennia: implications for future drought assessment », *Global Change Biology*, sous presse.
- Middleton, N. et D.S.G. Thomas. *World Atlas of Desertification*, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Edward Arnold, Londres, Royaume-Uni, 1992, 69 p.
- Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis*, World Resources Institute, Washington, DC, 2005, 68 p.
- Miller, J.J., K.F.S.L. Bolton, R.C. de Loë, G.L. Fairchild, L.J. Gregorich, R.D. Kreuzwiser, N.D. MacAlpine, L. Ring et T.S. Veeman. « Limits on rural growth related to water », dans *The Health of Our Water – Toward Sustainable Agriculture in Canada*, D.R. Coote et L.J. Gregorich (éd.), Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Direction de la planification et de la coordination de la recherche, Secteur de la recherche, 2000, pp. 131-139.
- Mills, B. et J. Andrey. « Climate change and transportation: potential interactions and impacts », dans *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*, Federal Research Partnership Workshop October 1-2, 2002, Summary and Discussion Papers, Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 2002, pp. 77-88, <<http://climate.dot.gov/workshop1002/workshop.pdf>>, [consultation : 5 juin 2007].
- Mills, J.N., T.L. Yates, T.G. Ksiazek, C.J. Peters et J.E. Childs. « Long-term studies of hantavirus reservoir populations in the southwestern United States: rationale, potential, and methods », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 5, n° 1, 1999, pp. 95-101.
- Millson, M., M. Bokhout, J. Carlson, L. Spielberg, R. Aldis, A. Borczyk et H. Lior. « An outbreak of Campylobacter jejuni gastroenteritis linked to meltwater contamination of a municipal well », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 82, n° 1, 1991, pp. 27-31.
- Milne, W. « Changing climate, uncertain future considering rural women in climate change policies and strategies », *Canadian Woman Studies*, vol. 24, n° 5, 2006, pp. 49-54.
- Mooney, S. et L.M. Arthur. « The impacts of climate change on agriculture in Manitoba », *Revue canadienne d'agroéconomie*, vol. 38, n° 4, 1990, pp. 685-694.
- Moore, R.D., I.G. McKendry, K. Stahl, H.P. Kimmins et Y.H. Lo. *Mountain pine beetle outbreaks in western Canada: coupled Influences of climate variability and stand development*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, rapport final du Projet A676, 2005, 60 p.
- Mossler, M. « Environmental hazard analysis and small island states: rethinking academic approaches », *Geographische Zeitschrift*, vol. 84, n° 2, 1996, pp. 86-93.
- Myneni, R., C. Keeling, C. Tucker, G. Asrar et R. Nemani. « Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991 », *Nature*, vol. 386, n° 6626, 1997, pp. 698-702.
- Nakićenović, N. et R. Swart (éd.). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2000, 570 p.
- National Association of Home Builders (NAHB). « Rebuilding Katrina-destroyed homes at least a year away », *Nation's Building News*, vol. 10, 10 octobre, 2005, 1 p.
- National Forestry Database Program - http://www.nfdp.ccfm.org/index_e.php
- Nelson, F.E., O.A. Anisimov et N.I. Shiklomanov. « Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions », *Natural Hazards*, vol. 26, n° 3, 2002, pp. 203-225.
- Neudoerffer, R.C. « Lessons from the past – Lessons for the future: a case study of community-based adaptation on the Canadian Prairies », présentation faite à la conférence « Adapting to Climate Change in Canada 2005 », tenue le 4 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005, 23 p., <<http://adaptation2005.ca/abstracts/pdf/neudoerffercynthia.pdf>>, [consultation : 5 juin 2007].
- Nicholls, S. et D. Scott. « Implications for climate change for outdoor recreation in North America », *Journal of Leisure Research*, sous presse.
- Norby, R.J., E.H. DeLucia, B. Gielen, C. Calafapietra, C.P. Giardina, J.S. King, J. Ledford, H.R. McCarthy, D.J.P. Moore, R. Ceulemans, P. De Angelis, A.C. Finzi, D.F. Karnosky, M.E. Kubiske, M. Lukac, K.S. Pregitzer, G.E. Scarascia-Mugnozza, W.H. Schlesinger et R. Oren. « Forest response to elevated CO₂ is conserved across a broad range of productivity », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, n° 50, 2005, pp. 18052-18056.
- Nyirfa, W. et W. Harron. *Assessment of climate change on the agricultural resources of the Canadian Prairies*, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Regina (Saskatchewan et Prairie Adaptation Research Collaborative, Projet QS-3, rapport final, 2001, 27 p.
- Office national de l'énergie. *Canada's oil sands: opportunities and challenges to 2015 – an update*, Office national de l'énergie, Calgary (Alberta), juin 2006, 85 p.
- Olson, K.R. et R.P. Schellenberg. « Farm stressors », *American Journal of Community Psychology*, 1986, vol. 14, n° 5, pp. 555-569.

- Oren, R., D. Ellsworth, K. Johnsen, N. Phillips, B. Ewers, C. Maier, K. Schafer, H. McCarthy, G. Hendrey, S. McNulty et G. Katul. « Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere », *Nature*, vol. 411, n° 6836, 2001, pp. 469-472.
- Organisation mondiale de la santé. *Climate change and human health: risks and responses*, Organisation mondiale de la santé, Genève (Suisse), 2003, 322 p.
- O'Riordan, J. *Social institutions and climate change: applying cultural theory to practice*, University of East Anglia, Norwich, Royaume-Uni, Document de travail (GEC), 1997, 59 p.
- O'Riordan, T. et J. Jager. *Politics of climate change in Europe: A European Perspective*, Routledge, New York, New York, Londres, 1996, 416 p.
- Overpeck, J.T., B.L. Otto-Bliessner, G.H. Miller, D.R. Muhs, R.B. Alley et J.T. Kiehl. « Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise », *Science*, vol. 311, n° 5768, 2006, pp. 1747-1750.
- Parisien, M.A., K.G. Hirsch, S.G. Lavoie, J.B. Todd et V.G. Kafka. *Saskatchewan fire regime analysis*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord, Service canadien des forêts, rapport d'information NOR-X-394, 2004, 61 p.
- Parker, W.C., S.J. Colombo, M.L. Cherry, M.D. Flannigan, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C. Papadopol et T. Scarr. « Third millennium forestry: what climate change might mean to forests and forest management in Ontario », *The Forestry Chronicle*, 2000, vol. 76, n° 3, pp. 445-463.
- Paul, A. et C. Saunders. « Melting ice roads pose Manitoba supplies emergency », *The Edmonton Journal*, 14 janvier 2002, p. A5.
- Pearce, F. « Climate warning as Siberia melts », *New Scientist*, vol. 187, n° 2512, 2005, pp.12-12, 1p, 1c.
- Pernetta, J. « Editorial preface », dans *Impacts of Climate Change on Ecosystems and Species: Implications for Protected Areas*, J. Pernetta, R. Leesman, D. Elder et S. Humphrey (éd.), International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Suisse, 1994, pp. vi-viii.
- Phifer, J.F. « Psychological distress and somatic symptoms after natural disaster: differential vulnerability among older adults », *Psychology and Aging*, vol. 5, n° 3, 1990, pp. 412-420.
- Phifer, J.F., K.Z. Kaniasty et F.H. Norris. « The impact of natural disaster on the health of older adults: A multiwave prospective study », *Journal of Health and Social Behavior*, vol. 29, n° 1, 1988, pp. 65-78.
- Pietroiro, A., B. Toth et J. Toyra. « Water availability in the South Saskatchewan River basin under climate change », présentation faite à la conférence intitulée Climate Change and Water in the Prairies tenue le 22 juin 2006 à Saskatoon (Saskatchewan), 2006.
- Plunkett, S.W., C.S. Henry et P.K. Knaub. « Family stressor events, family coping, and adolescent adaptation in farm and ranch families », *Adolescence*, vol. 34, n° 133, 1999, pp. 149-171.
- Poiani, K. et W. Johnson. « Potential effects of climate change on a semi-permanent prairie wetland », *Climatic Change*, vol. 24, n° 3, 1993, pp. 213-232.
- Policy Research Initiative. *Social capital as a public policy tool*, Gouvernement du Canada, rapport de projet, 2005, 34 p., <http://policyresearch.gc.ca/page.asp?pagenm=rp_sc_pub>.
- Portes, A. « Social capital: its origins and applications in modern sociology », *Annual Review of Sociology*, vol. 24, 1998, pp. 1-24.
- Prentice, B.E. et J. Thomson. « Airship fuel tankers for northern resource development: a requirement analysis », dans *Proceedings of the 38th Annual Conference of the Canadian Transportation Research Forum: Crossing Borders: Travel Trade, Security and Communication*, Ottawa (Ontario), 2003, pp. 592-606.
- Putnam, R. « Social Capital: Measurement and Consequences », *Isuma*, vol. 2, n° 1, 2001, pp. 41-52.
- Rannin, W.F. « A comparison of 1858-59 and 2000-01 drought patterns on the Canadian Prairies », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, n° 4, 2006, pp. 263-274.
- Reilly, J. (éd.). « Impact of climate change on production agriculture and the US economy », dans *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, J.M. Reilly (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2002, pp. 35-66.
- Ressources naturelles Canada. *Land and freshwater areas*, Ressources naturelles Canada, Centre canadien de télédétection, Division GeoAccès, 2001, <<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/learningresources/facts/surfareas.html>>, [consultation : 5 juin 2007].
- Rittmaster, R., W.L. Adamowicz, B. Amiro et R.T. Pelletier. « Economic analysis of health effects from forest fires », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 36, n° 4, 2006, pp. 868-877.
- Roach, R. *Economic transformations in western Canada*, Canada West Foundation, Dialogues, édition d'été, 2005, <<http://www.cwf.ca/V2/files/Dialogue%20Summer%20Final2.pdf>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Rose, J.B., P.R. Epstein, E.K. Lipp, B.H. Sherman, S.M. Bernard et J.A. Patz. « Climate variability and change in the United States: potential impacts on water- and foodborne diseases caused by microbiologic agents », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 211-220.
- Rowe, J.S. *Land classification and ecosystem classification*, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 39, n° 1-3, 1996, pp. 11-20.
- Rush, R., J. Ivey, R. de Loe et R. Kreutzweiser. *Adapting to climate change in the Oldman River watershed, Alberta: a discussion paper for watershed stakeholders*, University of Guelph, Guelph (Ontario), Department of Geography, Guelph Water Management Group, 2004, 26 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/52a_e.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].
- Rustad, L., J. Campbell, G. Marion, R.J. Norby, M.J. Mitchell, A.E. Hartley, J.H.C. Cornelissen et J. Gurevitch. « A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming », *Oecologia*, vol. 126, n° 4, 2001, pp. 543-562.
- Rylander, R. « Lung diseases caused by organic dusts in the farm environment », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 10, n° 3, 1986, pp. 221-227.
- Sala, O.E., F.S. Chapin 3rd, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker et D.H. Wall. « Global biodiversity scenarios for the year 2100 », *Science*, vol. 287, n° 5459, 2000, pp. 1770-1774.
- Saporta, R., J. Malcolm et D. Martell. « Impacts du changement climatique sur les forêts canadiennes » chapitre 6 dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique* (Volume 7 sur les questions sectorielles), G. Koshida et A. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 345-416.
- Sask Trends Monitor. *Population change, 2000 to 2004, Sask Trends Monitor*, vol. 22, n° 3, 2005, <<http://www.cwf.ca/V2/files/Dialogue%20Summer%20Final2.pdf>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Sauchyn, D.J. « Mass wasting processes », dans *Geomorphic Systems of the Palliser Triangle: Description and Response to Changing Climate*, D.S. Lemmen, R.E. Vance, I.A. Campbell, P.P. David, D.J. Pennock, D.J. Sauchyn et S.A. Wolfe (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 521, 1998, 72 p.
- Sauchyn, D.J. « Climate change impacts on agriculture in the Prairie Region », chapitre 6 dans *Farming in a Changing Climate: Agricultural Adaptation in Canada*, E. Wall, B. Smit et J. Wandel (éd.), UBC Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 2007.
- Sauchyn, D.J., E. Barrow, R.F. Hopkinson et P. Leavitt. « Aridity on the Canadian Plains », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 56, n°s 2-3, 2002a, pp. 247-259.
- Sauchyn, D.J., J. Byrne, N. Henderson, D. Johnson, M. Johnston, S. Keinzle et E. Wheaton. *Assessment of biophysical vulnerability, Alberta Environment, Alberta Vulnerability Assessment Project*, rapport final, 2007, 79 p.
- Sauchyn, D.J., S.D. Kenney et J. Stroich. « Drought, climate change and the risk of desertification on the Canadian plains », *Prairie Forum*, vol. 30, n° 1, 2005, pp. 143-156.
- Sauchyn, D.J., J. Stroich et A. Beriault. « A paleoclimatic context for the drought of 1999-2001 in the northern Great Plains », *The Geographical Journal*, vol. 169, n° 2, 2003, pp. 158-167.
- Sauvé, R. « Canadian age trends and transitions to 2016 », *People Pattern Consulting*, Sooke (Colombie-Britannique), 2003, 51 p.
- Schindler, D.W. et W.F. Donahue. « An impending water crisis in Canada's western Prairie Provinces », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, early edition, 2006, 7. p., <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0601568103>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Schröder, D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araujo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendinning, J.I. House, S. Kankaanpää, R.J.T. Klein, S. Lavorel, M. Lindner, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabate, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle et B. Zierl. « Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe », *Science*, 2005, vol. 310, n° 5752, pp. 1333-1337.
- Schuster, C.J., A.G. Ellis, W.J. Robertson, D.F. Charron, J.J. Aramini, B.J. Marshall et D.T. Medeiros. « Infectious disease outbreaks related to drinking water in Canada, 1974-2001 », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 96, n° 4, 2005, pp. 254-258.
- Scott, D. « Climate change and sustainable tourism in the 21st century », dans *Tourism Research: Policy, Planning, and Prospects*, J. Cukier (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, sous presse.
- Scott, D. et B. Jones. *Climate change and Banff National Park: implications for tourism and recreation*, rapport rédigé à l'intention de la ville de Banff (Alberta), Département de géographie, University of Waterloo, Waterloo (Ontario), 2005, 25 p.
- Scott, D. et C. Lemieux. « Climate change and protected area policy and planning in Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 696-703.
- Scott, D. et R. Suffling (éd.). *Climate change and Canada's national park system*, Environnement Canada et Parcs Canada, 2000, 218 p.
- Scott, D., B. Jones et J. Konopek. « Exploring the impact of climate-induced environmental changes on future visitation to Canada's Rocky Mountain National Parks », *Tourism Review International*, vol. 28, 2007, pp. 570-579.
- Scott, D., J. Malcolm et C. Lemieux. « Climate change and modelled biome representation in Canada's national park system: implications for system planning and park mandates », *Global Ecology and Biogeography*, vol. 11, n° 6, 2002, pp. 475-484.
- Seguin, J. (éditeur). *Human Health in a Changing Climate: A Canadian Assessment of Vulnerabilities and Adaptive Capacity*, Santé Canada, sous presse.
- Seneviratne, S.I., J.S. Pal, E.A.B. Eltahir et C. Schär. « Summer dryness in a warmer climate: a process study with a regional climate model », *Climate Dynamics*, vol. 20, n° 1, 2002, pp. 69-85.

- Serveiss, V.B. et D.W. Ohlson. « Using ecological risk assessment principles in a source water protection assessment », *Human and Ecological Risk Assessment*, vol.13, 2007, pp. 402-417.
- Service Alberta. *Alberta tourism statistics and trends*, Service Alberta 2005, <<http://www.servicealberta.gov.ab.ca/>>, [consultation : 30 mai 2007].
- Simpson, J.C.G., R.M. Niven, C.A.C. Pickering, A.M. Fletcher, L.A. Oldham et H.M. Francis. « Prevalence and predictors of work related respiratory symptoms in workers exposed to organic dusts », *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 55, n° 10, 1998, pp. 668-672.
- Smit, B. « Climate warming and Canada's Comparative position in agricultural production and trade », Environment Canada, *Climate Change Digest*, vol. 1, n° 9, 1989, pp. 1-9.
- Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 877-912.
- Smoyer-Tomic, K.E., J.D.A. Klaver, C.L. Soskolne et D.W. Spady. « Health consequences of drought on the Canadian Prairies », *EcoHealth*, vol. 1, supplément n° 2, 2004, pp. 144-154.
- Smoyer-Tomic, K.E., R. Kuhn et A. Hudson. « Heat wave hazards: an overview of heat wave impacts in Canada », *Natural Hazards*, vol. 28, n° 2-3, 2003, pp. 463-485.
- Sohngen, B. et R. Sedjo. « Impacts of climate change on forest product markets: Implications for North American producers », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 669-674.
- Soskolne, C.L., K.E. Smoyer-Tomic, D.W. Spady, K. McDonald, J.P. Rothe, J.D.A. Klaver. *Climate change, extreme weather events and health effects in Alberta*, Santé Canada, rapport final, rapport no 6795-15-2001/4400013, 2004, 485 p.
- Special Areas Board. *Special areas water supply project*, résumé du projet, Special Areas Board, Hanna (Alberta), 2005, <<http://www.specialareas.ab.ca/ProjectSummaryMay20am.pdf>>, [consultation : 4 juillet 2007].
- Spittlehouse, D.L. et R.B. Stewart. « Adaptation to climate change in forest management », *British Columbia Journal of Ecosystems and Management*, vol. 4, n° 1, 2003, pp. 1-11, <<http://www.forrex.org/jem/2003/vol4/no1/art1.pdf>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Square D. « Hospital evacuated, mental health issues dominated as Manitoba coped with flood of century », *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 156, n° 12, 1997, pp. 1742-1745.
- St. George, S. et E. Nielsen. « Paleoflood records for the Red River, Manitoba, Canada, derived from anatomical tree-ring signatures », *The Holocene*, vol. 13, n° 4, 2003, pp. 547-555.
- St. George, S. et D. Sauchyn. « Paleoenvironmental perspectives on drought in western Canada », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, n° 4, 2006, pp. 197-204.
- St. Louis, V. L., C. A. Kelly, E. Duchemin, J.W.M. Rudd et D.M. Rosenberg. « Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate », *Bioscience*, vol. 50, n° 9, 2000, pp. 766-775.
- Statistique Canada. *Bulletin d'analyse : régions rurales et petites villes du Canada*, no de catalogue 21-006-XIF2000002, vol. 2, n° 2, 2001a, <<http://www.statcan.ca/francais/freepub/21-006-XIE/21-006-XIE2000002.pdf>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Recensement de l'agriculture de 2001*, Statistique Canada, 2001b, <<http://www.statcan.ca/francais/agcensus2001/index.htm>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Trafic des transporteurs aériens aux aéroports canadiens*, Statistique Canada, 2004, 19 p., <<http://www.statcan.ca/bsolc/francais/bsolc/catno=51-203-X>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *2001 Census analysis series - Profile of the Canadian Population by Age and Sex: Canada*, Ages, Catalogue no. 96F0030XIE2001002, septembre 2005, 2005d, <www.statcan.ca>, [consultation : janvier 2006].
- Statistique Canada. *Recensement de 2001 : série "analyses" - Profil de la population canadienne selon l'âge et le sexe*, Statistique Canada, no de catalogue 96F0030XIF2001002, 2005a, <<http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/analytic/companion/age/image/s/96F0030XIE2001002.pdf>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Recensement de 2001 : série "analyses" - Profil de la population canadienne selon la mobilité : Les Canadiens en mouvement*, Statistique Canada, no de catalogue 96F0030XIF2001006, 2005b, <<http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/analytic/companion/mob/pdf/96F0030XIE2001006.pdf>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Stocks de bovines, par province*, Statistique Canada, CANSIM, tableau 003-0032, no de catalogue 23-012-X, 2005c, <<http://www40.statcan.ca/l01/cst01/prim50a.htm>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Recensements de la population, 1851 - 2001. Population urbaine et rurale, par province et territoire*, Statistique Canada, 2005d, <<http://www40.statcan.ca/l01/cst01/demo62i.htm>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Projections des populations autochtones, Canada, provinces et territoires, 2001 - 2017*, Statistique Canada, no de catalogue 91 - 547 - XIF, 2005e, <<http://www.statcan.ca/francais/freepub/91-547-XIE/2005001/bfront1.htm>>, [consultation : 18 juin 2007].
- Statistique Canada. *Projection démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires 2005-2031*, Statistique Canada, no de catalogue 91-520-XIF, 2005f, 213 p.
- Statistique Canada. *Projections de la population des groupes de minorités visibles, Canada, provinces et régions*, Statistique Canada, no de catalogue 91-541-XIF, 2005g, 80 p.
- Stedman, R., J. Parkins et T. Beckley. « Forest dependence and community well-being in rural Canada: variation by forest sector and region », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 1, 2005, pp. 215-220.
- Steedman, R.J. « Effects of experimental clearcut logging on water quality in three small boreal forest lake trout lakes », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, supplément n° 2, 2000, pp. 92-96.
- Stephen, C., M. Johnson et A. Bell. « First reported cases of hantavirus pulmonary syndrome in Canada », *Agence de santé publique du Canada, Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 20, n° 15, 1994, pp. 121-125.
- Stratton, E. *Local involvement in water management and adaptive capacity in the Oldman River basin*; thèse de maîtrise, University of Guelph, Guelph (Ontario), 2005, 309 p.
- Stratton, E., R. de Loe et S. Smithers. « Adaptive capacity to climate change in the water sector and the role of local involvement in the Oldman River basin, Alberta », présentation faite à la 57e conférence annuelle de l'Association canadienne des ressources hydriques tenue du 16 au 18 juin 2004 à Montréal (Québec), 2004.
- Stroh Consulting. *Agriculture adaptation to climate change in Alberta: Focus group results*, rapport rédigé pour l'Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 2005, 54 p.
- Stromgren, M. et S. Linder. « Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand », *Global Change Biology*, vol. 8, 2002, pp. 1195-1204.
- Sygna, L. *Climate vulnerability in Cuba: the role of social networks*, CICERO Centre for International Climate and Environment Research, document de travail 2005:01, 2005, 12 p., <www.cicero.uio.no>, [consultation : 19 juin 2007].
- Taylor, S.W., A.L. Carroll, R.I. Alfaro et L. Safranyik. « Forest, climate and mountain pine beetle outbreak dynamics in western Canada », dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Wilson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Initiative dendroctone du pin ponderosa, 2006, pp. 67-94.
- TD Bank Financial Group. An update on the economy of the Calgary-Edmonton corridor: more action needed for the tiger to roar, *TD Economics Topic Paper*, 3 octobre 2005, 5 p.
- Thorpe, J., N. Henderson et J. Vandall. *Ecological and policy implications of introducing exotic trees for adaptation to climate change in the western boreal*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11776-1E06, 2006, 111 p.
- Thorpe, J., B. Houston et S. Wolfe. *Impact of climate change on grazing capacity of native grasslands in the Canadian Prairies*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication No. 11562-1E04, 2004, 55 p.
- Thorpe, J., S. Wolfe, J. Campbell, J. LeBlanc et R. Molder. *An ecoregion approach for evaluating land use management and climate change adaptation strategies on sand dune areas in the Prairie Provinces*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication no. 11368-1E01, 2001, 284 p.
- Transports Canada. *Transportation in Canada 2005: annual report*, Transports Canada, TP 13198E, 2005, 92 p., <<http://www.tc.gc.ca/pol/en/report/anre2005/tc2005ae.pdf>>, [consultation : 19 juin 2007].
- Tyler, K.A. et D.R. Hoyt. « The effects of an acute stressor on depressive symptoms among older adults: the moderating effects of social support and age », *Research on Aging*, vol. 22, n° 2, 2000, pp. 143-164.
- Vaisey, J.S., T.W. Weins et R.J. Wettlaufer. « The permanent cover program - is twice enough? », présentation faite à Soil and Water Conservation Policies: Successes and Failures, Prague (République Tchèque), du 17 au 20 septembre 1996.
- Van de Geijn, S.C. et J. Goudriaan. « The effects of elevated CO₂ and temperature change on transpiration and crop water use », dans *Global Climate Change and Agricultural Production: Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological, Pedological and Plant Physiological Processes*, F. Bazzaz et W. Sombroek (éd.), Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et John Wiley & Sons Inc., Chichester, Royaume-Uni, 1996, pp. 101-121.
- van der Kamp, G. et D. Keir. Vulnerability of prairie lakes and wetlands to climate change - past, present and future, Union géophysique canadienne, réunion scientifique annuelle tenue du 8 au 11 mai 2005 à Banff (Alberta), 2005.
- van der Kamp, G., M. Evans et D. Keir. « Lakes disappearing on the Prairies? An aquatic whodunnit », *Envirozine*, no 63, 22 mars 2006, <<http://www.nwri.ca/envirozine/issue63-e.html>>, [consultation : 11 mai 2007].
- Van Kooten, G. C. « Economic effects of global warming on agriculture with some impact analyses for southwestern Saskatchewan », dans *Saskatchewan in a Warmer World: Strategies for the Future*, E. Wheaton, V. Wittrock et G. Williams (éd.), Saskatchewan Research Council, Publication E-2900-17-E-92, 1992.
- Van Rees, K.C.J. et D. Jackson. *Response of three boreal tree species to ripping and rollback of roadways*, Prince Albert Model Forest, Prince Albert (Saskatchewan), Final Report, 2002, 26 p.
- Vandall, J.P., N. Henderson et J. Thorpe. *Suitability and adaptability of current protected area policies under different climate change scenarios: the case of the Prairie Ecoregion*, Saskatchewan, Saskatchewan Research Council, Publication 11755-1E06, 2006, 117 p.
- Ville d'Edmonton. *FAQ: drought stressed trees*, Ville d'Edmonton, 2007, <<http://www.edmonton.ca/portal/server.pt>>, [accessed June 1, 2007].

- Voaklander, D.C., K.D. Kelly, B.H. Rowe, D.P. Schopflocher, L. Svenson, L., N. Yiannakoulis et W. Pickett. « Pain, medication, and injury in older farmers », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 49, n° 5, 2006, pp. 374-382.
- Volney, W.J.A. et R.A. Fleming. « Climate change and impacts of boreal forest insects », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 82, n° 1-3, 2000, pp. 283-294.
- Volney, W.J.A. et K.G. Hirsch. « Disturbing forest disturbances », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 662-668.
- Walker, J.L., L.S. Walker et P.M. MacLennan. « An informal look at farm stress », *Psychological Reports*, vol. 59, n° 2, pt 1, 1986, pp. 427-430.
- Wall, E., B. Smit et J. Wandel. *Canadian agri-food sector adaptation to risks and opportunities from climate change: position paper on climate change, impacts, and adaptation in Canadian agriculture*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) Agriculture, Guelph (Ontario), 2004, 56 p.
- Wang, G.G., S. Chin et W. Bauerle. « Effect of natural atmospheric CO₂ fertilization suggested by open-grown white spruce in a dry environment », *Global Change Biology*, vol. 12, n° 3, 2006, pp. 601-610.
- Watson, E. et B.H. Luckman. « Long hydroclimatic records from tree-rings in western Canada: potential, problems and prospects », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, n° 4, 2006, pp. 197-204.
- Weber, M. et G. Hauer. « A regional analysis of climate change impacts on Canadian agriculture », *Analyse de politiques*, vol. 29, n° 2, 2003, pp. 163-180.
- Weber, M.G. et M.D. Flannigan. « Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: impacts on fire regimes », *Environmental Reviews*, vol. 5, n° 3-4, 1997, pp. 145-166.
- Wetherald, R. T. et S. Manabe. « Detectability of summer dryness caused by greenhouse warming », *Climatic Change*, vol. 43, n° 3, 1999, pp. 495-511.
- Wheaton, E. « Forest ecosystems and climate », annexe B dans *The Canada Country Study: Climate Change and Adaptation, Volume III: Responding to Climate Change in the Prairies*, R. Herrington, B. Johnson et F. Hunter (éd.); Environnement Canada, 1997, pp. 1-31.
- Wheaton, E. *Climate change: past and future climate trends, impacts, adaptations, and vulnerabilities*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11905-1E04, 2004, 30 p.
- Wheaton, E.E., S. Kulshreshtha et V. Wittrock. *Canadian droughts of 2001 and 2002: climatology, impacts and adaptations*, rapport technique rédigé pour Agriculture et Agro-alimentaire Canada par le Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-1E03, 2005a, 1323 p.
- Wheaton E., V. Wittrock, S. Kulshreshtha, G. Koshida, C. Grant, A. Chipanshi et B. Bonsal. *Lessons learned from the Canadian droughts years of 2001 and 2002: synthesis report*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-46E03, 2005b, 30 p.
- Willems, S. et K. Baumert. *Institutional capacity and climate actions*, Organisation pour la coopération et le développement économiques, Direction de l'environnement, Agence internationale de l'Énergie, Publication COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2003)5, 2003, 50 p.
- Williams, G.D.V. et E.E. Wheaton. « Estimating biomass and wind erosion impacts for several climatic scenarios: a Saskatchewan case study », *Prairie Forum*, vol. 23, n° 1, pp. 49-66 et Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication E-2900-12-E-95, 1998.
- Williams, G.D.V., R.A. Fautley, K.H. Jones, R.B. Stewart et E.E. Wheaton. « Estimating effects of climatic change on agriculture in Saskatchewan, Canada », dans *The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 1: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions*, M.L. Parry, T.R. Carter, et N.T. Konjin.(éd.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas, 1988, p 221-371.
- Williamson, T.B., J.R. Parkins et B.L. McFarlane. « Perceptions of climate change risk to forest ecosystems and forest-based communities », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 710-716.
- Willows, R. J. et R.K. Connell (éd.). *Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making*, UK Climate Impacts Programme, Oxford, Royaume-Uni, rapport technique, 2003, 153 p.
- Wittrock, V. et G. Koshida. *Canadian droughts of 2001 and 2002: government response and safety net programs – agriculture sector*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-2E03, 2005, 24 p.
- Wittrock, V. E.E. Wheaton et C.R. Beaulieu. *Adaptability of prairie cities: the role of climate*, Saskatchewan Research Council, Current and Future Impacts and Adaptation Strategies, Environment Branch, Publication 11296-1E01, 2001, 230 p.
- Wolfe, S.A. et W.G. Nickling. *Sensitivity of eolian processes to climate change in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 421, 1997, 30p.
- Wood, A.W., D.P. Lettenmaier et R.N. Palmer. « Assessing climate change implications for water resources planning », *Climatic Change*, vol. 37, n° 1, 1997, pp. 203-228.
- Xenopoulos, M.A., D.M. Lodge, J. Alcamo, M. Marker, K. Schulze et D.P. Van Vuuren. « Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal », *Global Change Biology*, vol. 11, n° 10, 2005, pp. 1557-1564.
- Yue, S., P.J. Pilon et B. Phinney. « Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross correlation », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 48, n° 1, 2003, pp. 51-64.
- Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg et T.R. Yuzyk. « Trends in Canadian streamflow », *Water Resources Research*, vol. 37, n° 4, 2001, pp. 987-998.
- Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, n° 3, 2000, pp. 395-429.